



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES



TÍTULO:

**“ESTUDIO DE LAS REDES DE SENSORES APLICADOS A LA MEDICINA
PARA MONITORIZACIÓN DE PACIENTES”**

PRESENTADA POR:

Bach. RAUL CURAY ALDANA

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES**

Línea de Investigación: Área de Control

**PIURA-PERÚ
2017**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA

ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES

**“ESTUDIO DE LAS REDES DE SENSORES APLICADOS A LA
MEDICINA PARA MONITORIZACIÓN DE PACIENTES”**

Línea de Investigación: Área de Control

Br. RAÚL CURAY ALDANA
Ejecutor

Ing. EDWIN ARNALDO OCAS INFANTE
Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA
ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES

**“ESTUDIO DE LAS REDES DE SENSORES APLICADOS A LA MEDICINA
PARA MONITORIZACIÓN DE PACIENTES”**

Línea de Investigación: Área de Control

Aprobado Por:

Jurado

Dr. CARLOS ENRIQUE ARELLANO RAMÍREZ
Presidente

Mg. FRANKLIN BARRA ZAPATA
Secretario

Ing. MIGUEL ÁNGEL PANDURO ALVARADO
Vocal



DEDICATORIA

A Dios.

Por haberme permitido llegar hasta esta etapa de mi vida y haberme dado salud y la sabiduría para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A Mi Familia

Por su apoyo invaluable esta noble tarea de educarnos, para el presente y el futuro.

Raúl



AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a Dios por haberme dado vida y llegar hasta este momento tan trascendental de mi formación profesional.

Ha mi Madre por ser siempre el pilar más importante y por demostrarme su cariño y su apoyo incondicional en todo momento.

Ha a mi Padre, quien con sus buenos consejos ha sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual ha servido para salir adelante y guiarme en los momentos más difíciles y que fue el impulso para culminar mi carrera profesional.

Ha Cinthia, mi compañera comprensiva y a mi hijo Liam que me motivaron a seguir adelante, por su gran fe en mí y su apoyo incondicional y que me acompañaron durante todo este tiempo en esta ardua tarea.

Ha mis hermanos, que también siguieron una carrera y que fuimos contemporáneos y nos animamos entre nos a culminarla

Ha mi gran Madre Barbarita, por confiar siempre en mí y a mi gran Padre José La Rosa, que aunque no está aquí físicamente siempre lo he sentido presente y que fue el que me alentó en su oportunidad a ser un profesional.

Ha mi familia en general, porque me ha brindado su apoyo incondicional y por compartir conmigo todos los momentos de mi vida.

Al Ing. Edwin Arnaldo Ocas Infante por toda la colaboración brindada y valiosa guía en el asesoramiento de esta magnífica Tesis.

A mis profesores, gracias por su apoyo, su tiempo, su sabiduría que me transmitieron a lo largo de mi carrera profesional y a todos los que me apoyaron en este ambicioso proyecto.

Raúl



INDICE GENERAL

1	INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGIA INALAMBRICA MEDIANTE REDES DE SENSORES	01
1.1	REDES INALAMBRICAS DE SENSORES.	01
1.1.1.	CARACTERÍSTICAS DE WSN	04
1.2	REDES INALAMBRICAS DE SENSORES CORPORALES	04
CAPITULO II: MARCO TEORICO		
2.	INTRODUCCIÓN-.....	08
2.2	¿QUÉ SON LOS SIGNOS VITALES?	08
2.2.1	¿QUÉ ES LA TEMPERATURA CORPORAL?	09
2.2.2	¿QUÉ ES EL PULSO?.....	10
2.3	METODOLOGIA PARA EL DISEÑO DE UNA RED DE SENSORES INALAMBRICOS	11
2.3.1	antecedentes.....	11
2.3.2	factores de diseño en redes de sensores inalámbricos.....	11
2.3.3.	Topología de la red de sensores.....	12
2.3.4.	Entorno.....	13
2.3.5.	Medio de transmisión	13
2.3.6.	Consumo de energía.....	14
2.4.	Arquitectura de un Nodo	14
2.4.1.	Componentes de un nodo sensor Wireless.....	14
2.4.1.1.	Controlador.....	15
2.4.1.2.	Transceptor.	15
2.4.1.3	Sensores.....	16
2.4.1.4.	Radio.....	17
2.4.1.5	Memoria Externa.....	17
2.4.1.6.	Fuente de Alimentación.....	18



2.5. Comparativa de las motas o nodos inalámbricos.....	19
2.6 Estándar IEEE 802.15.4 y Zigbee.....	21
2.6.1 Estándar IEEE 802.15.4	21
2.6.1.1 Arquitectura del estándar IEEE 802.15.4	24
2.6.2 Zigbee.....	26
2.7 PROTOCOLOS DE ENRUTAMIENTO PARA WSN.....	27
2.7.1 Modelos de enrutamiento.....	27
2.7.1.1 Modelo de un salto	27
2.7.1.2 Modelo Multi-hop.....	28
2.7.1.3 Modelo esquemático basado en clústeres.....	28
2.8. SISTEMA OPERATIVO PARA NODOS SENSORES.....	29
2.8.1. Sistema operativo TINYOS	30
2.8.2. Sistema operativo Contiki.	31
2.8.3. Sistema operativo eCos (embedded Configurable operating system)	31
2.8.4. Sistema operativo MANTIS (Multimodal system for NeTworks of In-situ Wireless Sensors).....,.....	31
2.9. CASAS DE DISPOSITIVOS PARA WSN.....	32
2.9.1. Crossbow.....	32
2.9.2. Shockfish s.a.	32
2.9.3. Sentilla	33
2.9.4. BTnode.....	33
2.9.5. Sun	34
2.9.6. Ember	34



CAPITULO III: INGENIERIA BASICA

3.	APLICACIÓN WSN ORIENTADA A LA MEDICINA.....	35
3.1.	INTRODUCCIÓN.....	35
3.2.	VISIÓN GENERAL DE LA APLICACIÓN DE WSN EN LA MEDICINA	35
3.3.	DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA APLICACIÓN DE WSN EN EL ÁMBITO MÉDICO.....	38
3.3.1	Red inalámbrica para Monitoreo de la salud : Frecuencia Cardíaca y Sensor de temperatura	39
3.3.1.1.	Introducción	39
3.3.1.2.	Descripción del sistema.....	40
A.	El hardware del micro controlador Arduino.....	41
B.	El software del micro controlador Arduino.....	42
C.	Radio Xbee.....	42
D.	Principio de oximetría del pulso.....	43
E.	Frecuencia cardíaca y configuración del sensor.....	44
F.	Experimentos y pruebas	45
G.	Comunicación inalámbrica.....	47
H.	Factores de error en pulso	48

CAPITULO IV:

DIVERSAS APLICACIONES DE WSN ORIENTADA A LA MEDICINA.....	49
---	----

CAPITULO V

CONCLUSIONES.....	52
-------------------	----

BIBLIOGRAFÍA	53
--------------------	----



ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1 : Arquitectura Típica de una Red de Sensores WSN</i>	2
<i>Figura. 2 Sistema WBSN. Formado por Sensores fisiológicos en una red Inalámbrica corporal (WBSN)</i>	5
<i>Figura 3: Estructura general de las partes de un nodo.</i>	6
<i>Figura 4 redes de área corporal</i>	7
<i>Figura 5: Parte de un sensor Inalámbrico</i>	12
<i>Figura 6: Arquitectura Típica de un nodo</i>	14
<i>Figura 7: Diferente tipos de sensores</i>	17
<i>Figura 8: Familia de Motas Mica y Telos</i>	19
<i>Figura 9. Arquitectura de IEEE 802.15.4</i>	24
<i>Figura 10. Distribución en una red de motes con una mote base</i>	28
<i>Figura 11. Logotipo de Crossbow</i>	32
<i>Figura 12. Logotipo de Shockfish</i>	32
<i>Figura 13. Logotipo de Sentilla</i>	33
<i>Figura 14. Logotipo de BTnodes</i>	33
<i>Figura 15. Logotipo de Sun microsystems</i>	34
<i>Figura 16. Implementación física para la monitorización de los niveles de glucosa</i>	36
<i>Figura 17. Localización del sensor en el ojo.</i>	37
<i>Figura 18. Sensor para la detección precoz del cáncer</i>	38
<i>Figura 19. Vista Conceptual del sistema</i>	41
<i>Figura 20. Arduino, XBee shield and modulo XBee.</i>	41
<i>Figura 21: Longitud de onda de infrarrojos y la luz roja</i>	43
<i>Figura 22: Diagrama simplificado del hardware</i>	44
<i>Figura 23. Diagrama completo del esquema del hardware</i>	45



<i>Figura 24. Salida analógica del amplificador operacional.....</i>	<i>46</i>
<i>Figure 25: Prueba de la salida digital del comparador.....</i>	<i>46</i>
<i>Figure 26: Detección de los latidos.....</i>	<i>46</i>

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Comparativa de nodos inalámbricos.....	20
Tabla 2.	Comparativa estándares Wireless.....	23
Tabla 3.	Bandas de frecuencia utilizadas por el estándar IEEE 802.15.4.....	23



RESUMEN

Las redes de sensores inalámbricas aplicadas a la medicina están emergiendo como una gran solución para la monitorización de personas con problemas de salud. Estas redes se limitan a leer las señales vitales (frecuencia cardiaca) del paciente y enviar toda la información recogida a un dispositivo colector donde será posteriormente procesada o mostrada a los médicos. Esta orientación deriva en un corto tiempo de vida de los nodos que forman la red, debido al gran consumo de energía que conlleva la transmisión de todos los datos leídos a la estación base, pues la radio es el elemento que más consume del nodo.

Mediante la inclusión de un algoritmo en los nodos, que procese las señales leídas por los sensores en lugar de enviarlas directamente, se consigue reducir notablemente el consumo, pues se reduce la comunicación inalámbrica, al transmitirse a la estación base sólo información relevante sobre el estado del paciente.

Para esta tesis, se hace un análisis en la monitorización de pacientes y se centrará en el proceso de captar señales de frecuencia cardiaca, usando una plataforma inalámbrica diseñada con Multisim para su simulación, así como una aplicación para el análisis de la señal de frecuencia y una orientación a dictar un diagnóstico automático en tiempo real de estas señales, que se pretende optimizar para la escasa capacidad de procesamiento de la plataforma usada.

Mediante el uso de esta aplicación se han obtenido resultados que permiten hacer un análisis de monitoriamiento más eficaz y eficiente.

Palabras Clave: Redes de sensores Inalámbricas, monitorización, frecuencia cardiaca, análisis de señales



Abstract:

Wireless sensor networks applied to medicine are emerging as a great solution for the monitoring of people with health problems. These Networks are limited to reading the vital signs (heart rate) of the patient and sending all the collected information to a collecting device where it will be subsequently processed or shown to the doctors. This orientation results in a short lifetime of the nodes that make up the network, due to the high energy consumption that involves the transmission of all the data read to the base station, since the radio is the element that consumes the most of the node.

By including an algorithm in the nodes, which processes the signals read by the sensors instead of sending them directly, it is possible to reduce the consumption, because wireless communication is reduced, when transmitted to the base station only relevant information about the patient's condition.

For this thesis, an analysis is made in the monitoring of patients and will focus on the process of capturing heart rate signals, using a wireless platform designed with Multisim for its simulation, as well as an application for the analysis of the frequency signal and an orientation to dictate an automatic diagnosis in real time of these signals, which is intended to optimize for the limited processing capacity of the platform used.

By using this application, results have been obtained that allow a more effective and efficient monitoring analysis.



CAPITULO I

INTRODUCCION A LA TECNOLOGIA INALAMBRICA DE REDES DE SENSORES

1. INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGIA INALAMBRICA MEDIANTE REDES DE SENSORES

En este capítulo se realizará una información general a las redes de sensores inalámbricos, así como a las redes inalámbricas de sensores corporales, sus conceptos asociados y fundamentos teóricos. De esta manera, se tendrá una visión general de las tecnologías asociadas a las redes de sensores.

1.1 REDES INALAMBRICAS DE SENSORES

Las redes inalámbricas de sensores (en inglés: “Wireless sensor networks” o WSN) son redes inalámbricas constituidas por una serie de sensores autónomos distribuidos que cooperan para medir parámetros físicos.

Sus utilidades van desde la observación ambiental a la monitorización médica.

La WSN captura e interpreta información relevante, que posteriormente es almacenada o enviarla a una estación base. Para llevar a cabo estas tareas cada nodo está equipado con varios sensores, un chip de radio y un microcontrolador.

Como fuente de energía utilizan una batería, aunque también pueden usarse dispositivos de recuperación de energía (como paneles solares o generadores termoelectrónicos), para así aumentar el tiempo de vida del nodo y minimizar su mantenimiento.

En la Figura 01 se da una representación de la arquitectura típica de una WSN.

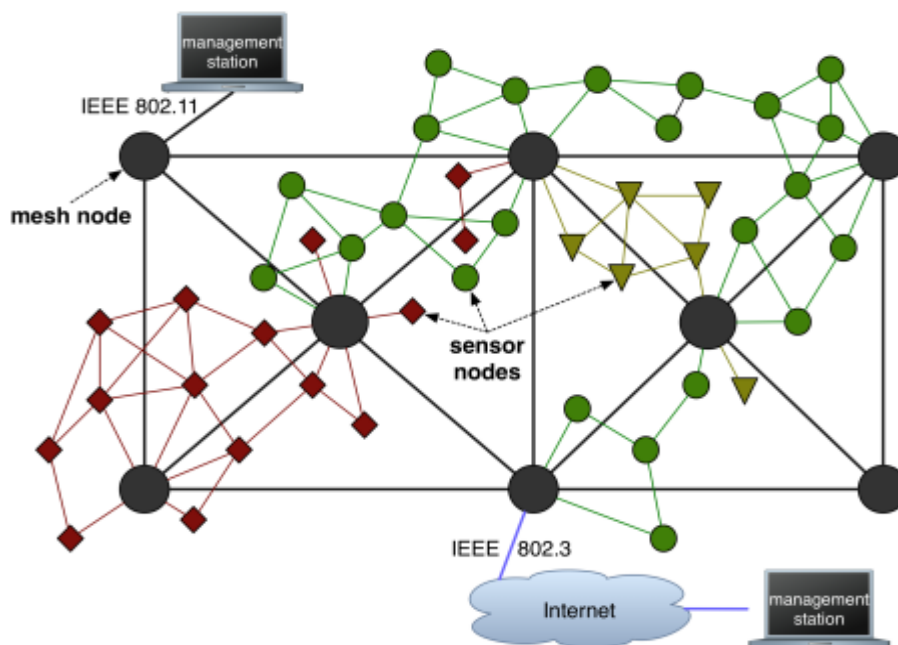


Figura 1 : Arquitectura Típica de una Red de Sensores WSN

La red se compone de varios nodos (sensor nodes) que miden una serie de parámetros y envían la información recogida a un nodo central (mesh node). Cada nodo puede alcanzar uno o más nodos centrales, ya sea directamente o a través de otros nodos de la red, siguiendo un esquema multisalto. Los nodos centrales pueden estar conectados entre sí dando lugar a una red de más alto nivel a la que puede accederse por medio de estaciones de control (management station), ya sea usando una conexión inalámbrica punto a punto con uno de los nodos centrales o a través de Internet.

Las WSNs pueden estar equipadas con cualquier tipo de sensor, dando lugar a multitud de aplicaciones. Se usan tanto en el ámbito comercial como industrial, para medir parámetros que son demasiado difíciles o caros de Key words: Wireless sensor networks, monitoring, heart rate, signal analysis monitorizar usando sensores con cables. Entre sus aplicaciones se pueden mencionar:

- Investigación biológica: seguimiento de especies salvajes en su hábitat natural.
- Monitorización ambiental: contaminación (aire, agua, tierra), detección de incendios forestales, predicción de terremotos y otros desastres naturales.



- Respuesta frente a accidentes: dar soporte a los equipos de emergencia para identificar riesgos o peligros, localizar supervivientes.
- Agricultura: seguimiento de cultivos, gestión de microclimas para mejorar la producción de vinos, control de fertilización.
- Sector industrial: control y seguimiento del proceso de fabricación, predicción de fallos mecánicos, control de calidad.
- Sector comercial: control de stock, seguimiento de productos, control de calidad.
- Arquitectura: espacios inteligentes, domótica, detección de intrusos.
- Transporte: control de los sistemas internos de coches, barcos y aviones.
- Autoridades locales: información sobre el tráfico, análisis y coordinación.
- Militar: vigilancia, identificación de enemigos, seguimiento de objetivos, soporte para operaciones logísticas.
- Medicina: seguimiento de personal médico y pacientes, monitorización de señales biométricas, control de administración de medicamentos.

Por otra parte, la investigación relacionada con el entorno médico cada vez va en aumento ya que las aplicaciones médicas de las redes de sensores inalámbricos son una de las áreas más prometedoras para su uso práctico. Actualmente se están empleando muchos esfuerzos que se focalizan en el desarrollo fiable, flexible y barato de dichas redes que puedan utilizarse en aplicaciones médicas.

El objetivo de este proyecto es llevar a cabo un estudio sobre las redes de sensores inalámbricos aplicados al área de la medicina también llamadas redes inalámbricas de sensores corporales, que tienen un enorme potencial para transformar la manera en que interactuamos con las Tecnologías de la Información, obteniendo mayor beneficio de su utilidad. Para lo cual se tratará aspectos relevantes que ayuden a comprender el funcionamiento de esta tecnología para luego enfocar el tema en el entorno médico, y de esta forma conocer cómo se está aprovechando el potencial de las WSN para mejorar la calidad, y eficiencia en los cuidados de la salud.



1.1.1. CARACTERÍSTICAS DE WSN

Las principales características de este tipo de redes son las siguientes:

- Despliegue Ad-hoc y a gran escala sobre una superficie.
- No se utiliza infraestructura de red. Una red de sensores no tiene necesidad alguna de infraestructura para poder operar, ya que sus nodos pueden actuar de emisores, receptores o router.
- Estos dispositivos están destinados a ser extremadamente pequeños, variando en tamaño desde una escala del micrómetro a un milímetro (que puede ser comparado con un grano de arena o incluso una partícula de polvo).
- Nodos con reducido consumo de energía y memoria. Estas redes funcionan con pilas y tienen una larga autonomía de funcionamiento. Pueden operar sin mantenimiento durante varios meses o años.
- Se utilizan tecnologías inalámbricas de corto alcance, el encaminamiento entre dos nodos sin visión directa se realiza mediante comunicaciones multisalto.
- Topología dinámica: nodos auto-configurables, tolerancia a fallos y presentan una elevada fiabilidad.
- Utilización de envío de mensajes en broadcast.
- Coste muy bajo.
- Integración con otras tecnologías como agricultura, biología, medicina, etc.

1.2 REDES INALAMBRICAS DE SENSORES CORPORALES

Las redes inalámbricas de sensores de área corporal (Wireless Body Sensor Networks) Están formadas por una serie de dispositivos ligeros y muy pequeños. Cada Plataforma tiene uno o más sensores fisiológicos (sensores que leen las señales vitales), Conectados a través de una red inalámbrica.

Esta red puede estar conectada a un servidor, base de datos, etc. que proporcione Información, para realizar un análisis por los sensores, o almacene la información recopilada por éstos (incluso directamente en Internet, como se muestra en la Fig.2).

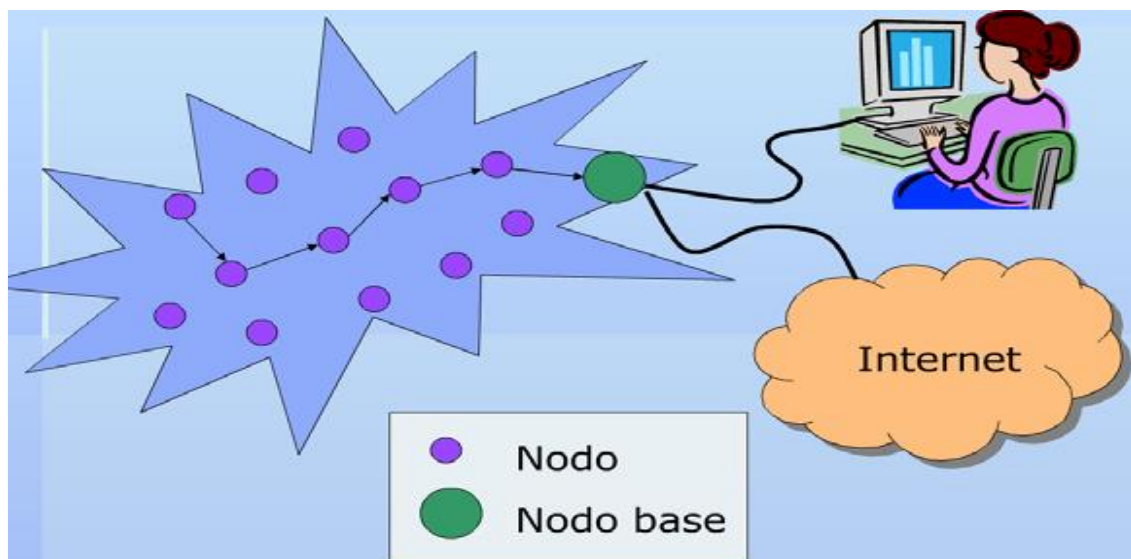


Figura. 2 Sistema WBSN. Formado por Sensores fisiológicos en una red Inalámbrica corporal (WBSN)

Estos sistemas se pueden usar en multitud de campos de investigación (donde se requiera recolección de datos o muestras desde varios puntos, o diferentes mediciones),

Existen varios tipos de redes WBSN, dependiendo de la función a la que se destinan, y

el tipo de sensores que incorporen, a continuación veremos una clasificación de las redes de sensores según su modo de uso:

- Monitorización continua: los nodos que miden los mismos parámetros en un área de interés, con envío periódico de la información recogida. (Como redes WBSN destinadas a la medicina, para el seguimiento de pacientes con enfermedades crónicas)
- Monitorización basada en eventos: nodos monitorizando entornos continuamente, pero solo envían información cuando ocurre algún evento (Nodos que detectan enfermedades cardíacas).
- Redes Híbridas: escenarios de acción que tienen nodos de las 2 categorías anteriores.

En los nodos de la red WBSN, se diferencian varias partes, cada una con su función correspondiente (ver Fig.3):

- Constan de un sensor o varios, encargados de recoger los datos.
- Un procesador sencillo con una pequeña memoria, que permite realizar cálculos locales sobre los datos adquiridos por el sensor.
- La radio: se encarga de la comunicación inalámbrica de información a otros nodos o a la estación base.
- La fuente de alimentación del nodo, normalmente son baterías o energy scavengers o recolectores de energía del medio

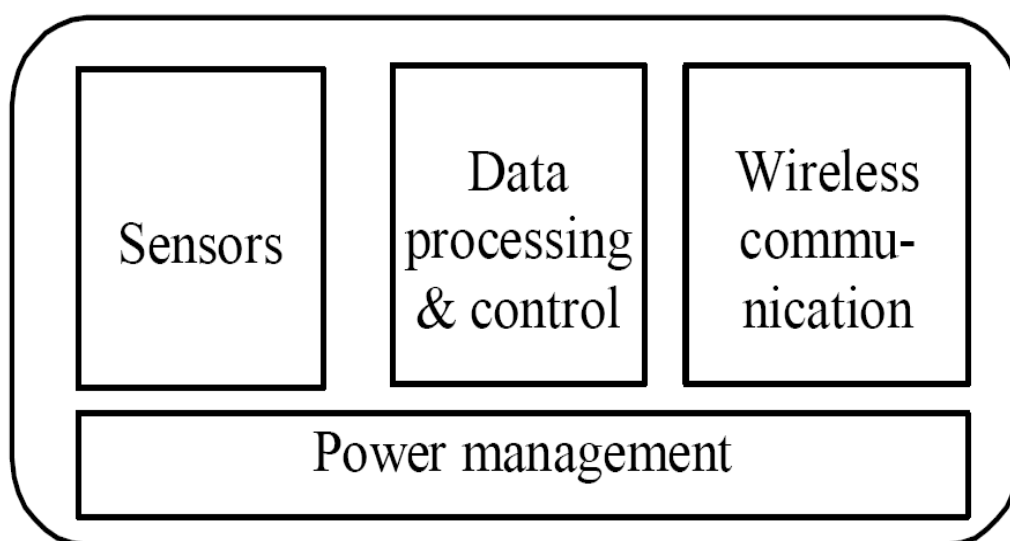


Figura 3: Estructura general de las partes de un nodo.

Los nodos tienen grandes limitaciones por ser de tamaño reducido, ya que deben poder colocarse en el cuerpo o ser fáciles de transportar (como diminutos parches inteligentes, integrados en la ropa, o ser implantados bajo la piel o los músculos). Así como, permitir monitorizaciones continuas y de larga duración (grandes restricciones de consumo) sin tener la necesidad de recargar sus baterías.

Las grandes limitaciones de estos nodos proponen varios retos como:

- Necesidad de bajo consumo energético, poco peso y tamaño.
- Flexibilidad de los sensores para adaptarse a las condiciones del usuario y los cambios en el entorno: por ejemplo, nodos adaptados para hacer deporte.
- Conectividad sin fallos, necesaria para la integración de los nodos dentro del sistema de monitorización.
- Comunicación y almacenamiento de datos que recoja o analice de forma segura y fiable.
- Funcionamiento de un sistema tolerante a fallos, capaz de adaptarse a los fallos de los sensores y retransmitir paquetes perdidos.

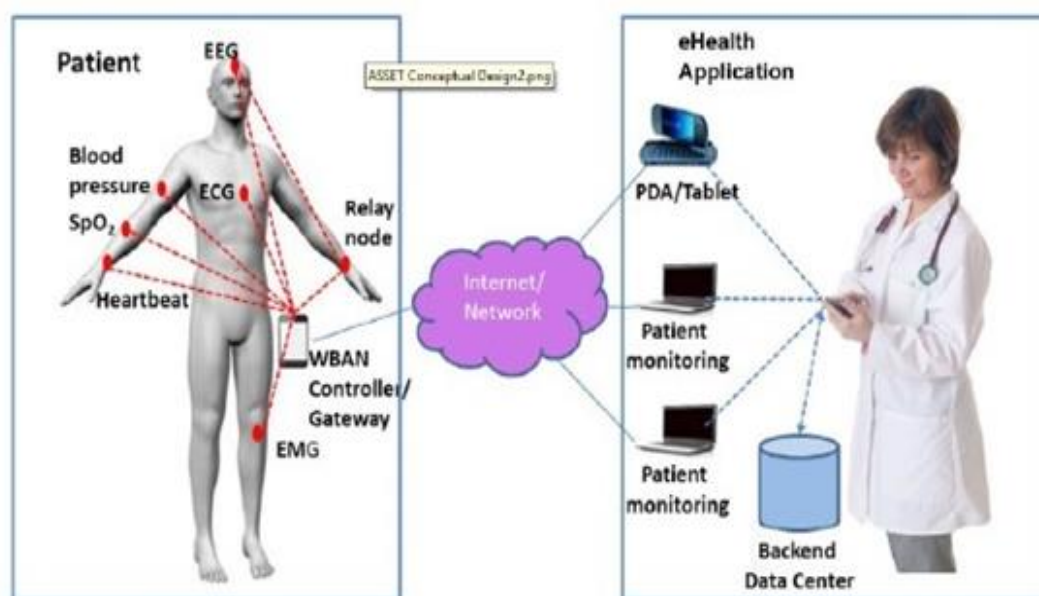


Figura 4 redes de área corporal



CAPITULO II

MARCO TEORICO

2. INTRODUCCIÓN

En esta capítulo se considera tener conocimiento acerca de los diversos Signos vitales (temperatura corporal, pulso, frecuencia respiratoria y presión arterial) considerados en la medicina tomando algunas de ellas propicias para el diseño del proyecto, también se considerara sobre los distintos factores que afecten a las redes de sensores y otros aspectos que dan una visión a varios niveles de profundidad de los elementos que componen este tipo de redes, y la lógica de funcionamiento que existe entre ellos externa e internamente.

<https://www.urmc.rochester.edu/encyclopedia/content.aspx?ContentTypeID=85&ContentID=P03963>

2.2 ¿QUÉ SON LOS SIGNOS VITALES?

Los signos vitales son mediciones de las funciones más básicas del cuerpo. Los cuatro signos vitales principales que monitorizan de forma rutinaria los profesionales médicos y proveedores de atención médica son los siguientes:

- La temperatura corporal;
- El pulso;
- La frecuencia respiratoria (ritmo respiratorio);
- La presión arterial (si bien no se considera a la presión arterial como un signo vital, por lo general se la controla junto con los signos vitales).

Los signos vitales son útiles para detectar o monitorizar problemas de salud. Los signos vitales se pueden medir en un instituto médico, en casa, durante una emergencia médica o en cualquier otro lugar.



2.2.1 ¿QUÉ ES LA TEMPERATURA CORPORAL?

La temperatura normal del cuerpo varía según el sexo, la actividad reciente, el consumo de alimentos y líquidos, la hora del día y, en las mujeres, la etapa del ciclo menstrual. La temperatura corporal normal puede variar entre 97.8 °F (Fahrenheit) equivalentes a 36.5 °C (Celsius) y 99 °F equivalentes a 37.2 °C en un adulto sano. La temperatura corporal de una persona puede medirse de cualquiera de las siguientes maneras:

- **En la boca.** La temperatura se puede tomar en la boca con un termómetro clásico o con un termómetro digital que utiliza una sonda electrónica para medir la temperatura corporal.
- **En el recto.** La temperatura que se toma por vía rectal (con un termómetro de vidrio o digital) tiende a ser entre 0,5 y 0,7 °F más alta que cuando se toma por vía oral.
- **En la axila.** Se puede tomar la temperatura debajo del brazo con un termómetro de vidrio o digital. La temperatura que se toma en esta zona suele ser entre 0,3 y 0,4 °F más baja que la que se toma por vía oral.
- **En la oreja.** Un termómetro especial puede medir rápidamente la temperatura del tímpano para reflejar la temperatura central del cuerpo (la temperatura de los órganos internos).
- **En la piel.** Un termómetro especial puede medir rápidamente la temperatura de la piel de la frente.

Cuando la temperatura es anormal puede producirse por la fiebre (temperatura alta) o por la hipotermia (baja temperatura). Se entiende como fiebre cuando la temperatura corporal se eleva por sobre un grado de la temperatura normal de 98,6 °F, según la Academia Estadounidense de Médicos de Familia (American



Academy of Family Physicians). La hipotermia se define como un descenso de la temperatura corporal por debajo de 95 °F.

2.2.2 ¿QUÉ ES EL PULSO?

El pulso es una medición de la frecuencia cardíaca, es decir, la cantidad de veces que el corazón late por minuto. A medida que el corazón impulsa la sangre a través de las arterias, las arterias se expanden y se contraen con el flujo sanguíneo. Al tomar el pulso no solo se mide la frecuencia cardíaca, sino que también puede indicar:

- **El ritmo cardíaco**

Es el período armónico de latidos cardiacos formado por los sonidos de Korotkoff. El corazón late durante la sístole (contracción del corazón para impulsar sangre).

- **La fuerza del pulso**

El pulso normal de los adultos sanos oscila entre los 60 y 100 latidos por minuto. El pulso puede fluctuar y aumentar con el ejercicio, las enfermedades, las lesiones y las emociones. Las mujeres mayores de 12 años, en general, tienden a tener el pulso más rápido que los hombres. Los deportistas, como los corredores, que practican mucho ejercicio cardiovascular, pueden tener frecuencias cardíacas de hasta 40 latidos por minuto sin presentar problemas de ningún tipo.

Para el diseño del proyecto se considera una Red inalámbrica para monitoramiento de la salud: Frecuencia Cardíaca y Sensor de temperatura



2.3 METODOLOGIA PARA EL DISEÑO DE UNA RED DE SENSORES INALAMBRICOS

2.3.1 ANTECEDENTES

La influencia cada vez mayor de sensores electrónicos en la industria ha ocasionado la necesidad de proponer métodos que contribuyan a reducir costos tanto de cableado como de canalización, para ello las soluciones inalámbricas resultan muy provechosas, sin embargo, no existe un método estándar que permita su implementación independientemente de la tecnología propietaria a utilizar. Por esta razón, se proponen metodología para el diseño y la implementación de una red inalámbrica de sensores (Metodología para el diseño de una red de sensores inalámbricos por Pérez, Juan Urdaneta, Elizabeth Custodio, Ángel) . Este método tiene siete pasos: Detección de necesidades de medición del entorno, caracterización del entorno, estudio de los dispositivos disponibles relacionados con redes inalámbricas de sensores, selección del tipo de red a usar, realizar cálculos, realizar pruebas experimentales con los dispositivos de forma individual, implementar la red en campo.

El método se probó en una planta de cemento midiendo la temperatura en cuatro puntos distantes con dispositivos basados en sensores y de forma inalámbrica. Los resultados fueron observados por internet desde un computador central

2.3.2 FACTORES DE DISEÑO EN REDES DE SENSORES INALÁMBRICOS

El diseño de una red de sensores inalámbricos como la descrita anteriormente estará altamente influenciado por los siguientes factores:

- **Tolerancia a fallos:** Algunos nodos sensores pudieran fallar o bloquearse debido a la falta de energía, o recibir daños físicos o interferencias medioambientales. El fallo de nodos sensores no debería comprometer el funcionamiento global de la red sensoral. Este es el principio de la tolerancia a fallos o fiabilidad.
- **Escalabilidad:** Los nuevos diseños deberán ser capaces de trabajar con un número de nodos del orden de centenares, millares, e incluso, dependiendo de la aplicación, millones. También deberán tener en cuenta la alta densidad, que pueden llegar hasta algunos centenares de nodos sensores en una región.

- **Costos de producción:** Dado que las redes de sensores consistirán en un gran número de nodos sensores, el costo de un nodo individual es clave para que una red inalámbrica sea rentable en comparación con una cableada. Si el costo de la red es más caro que el despliegue de sensores tradicionales, la red sensora no está justificada desde el punto de vista económico.

- **Limitaciones de hardware:** Un nodo sensor estará constituido por cuatro componentes básicos, como se muestra en la figura 2. Estructura básica de un nodo sensor: el Sensor-ADC, la Unidad de Proceso, el Transceptor, y la Unidad de Energía. También puede tener otros componentes adicionales dependiendo de su aplicación como un Sistema de Localización y un Movilizador.

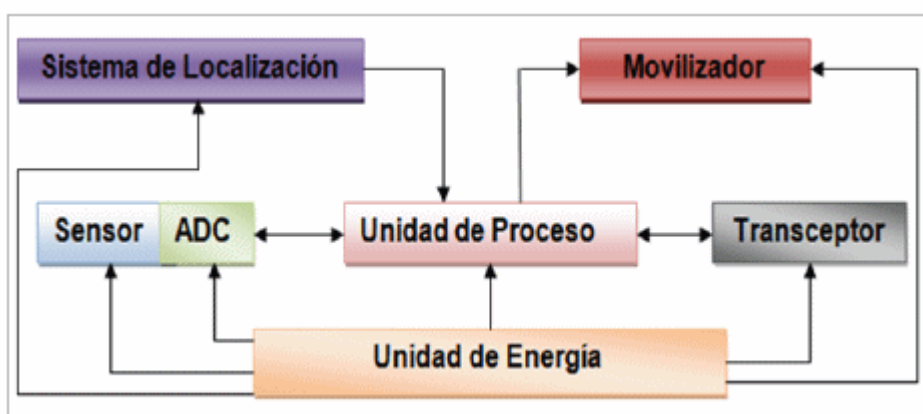


Figura 5: Parte de un sensor Inalámbrico

2.3.3. Topología de la red de sensores

El despliegue de un gran número de nodos densamente distribuidos precisa de un mantenimiento y gestión de la topología aplicada. Se pueden dividir las tareas de mantenimiento y cambio de la topología en tres fases:

- **Fase de Pre-despliegue y Despliegue:** Los nodos sensores inalámbricos podrán ser arrojados en masa o colocados uno por uno en el campo sensor.
- **Fase Post-despliegue:** Después del despliegue, los cambios de topología serán debidos a cambios en la posición de los nodos sensores, accesibilidad (debido a interferencias intencionadas (jamming), ruido, obstáculos móviles, etc.), energía disponible, funcionamiento defectuoso y detalles de las tareas encomendadas.

- **Nuevas fases de despliegue:** Nodos sensores inalámbricos adicionales pueden ser desplegados en cualquier momento para reemplazar nodos defectuosos o debido a cambios en la dinámica de las tareas.

2.3.4. Entorno

Los nodos sensores inalámbricos serán desplegados densamente bien, muy cerca o directamente en el interior del fenómeno a ser observado. Por consiguiente, normalmente trabajan desatendidos en áreas geográficas remotas. Pueden estar trabajando en el interior de una maquinaria grande, en el fondo del océano, en un área contaminada biológicamente o químicamente, en un campo de batalla más allá de las líneas enemigas, así como en edificios y hogares.

2.3.5. Medio de transmisión

En una red de sensores conectados inalámbricamente, la comunicación entre nodos se pueden establecer mediante: radio, sistemas ópticos o infrarrojos. Mucho del hardware actual para nodos sensores está basado en circuitos de diseño de RF.

En el caso de las restricciones de hardware aplicables a redes de sensores de bajo consumo y bajo coste, existe un gran número de componentes basados en la banda ISM (Industrial, Scientific and Medical) de 433 y 915 MHz o circuitos RF operando en el rango de, 2.4 GHz. El dispositivo sensor de bajo consumo descrito en utiliza un transceptor RF de un solo canal que opera a 916 Mhz.

Otro modo de comunicación entre nodos en WSN es mediante la comunicación por infrarrojos, la cual no necesita licencia y es robusta frente a interferencias producidas por dispositivos eléctricos. Los transceptores basados en infrarrojos son baratos y fáciles de construir.

Otro desarrollo interesante es el del Smart Dust, que es un sistema autónomo de percepción, computación y comunicación que utiliza el medio óptico para transmitir. Ambos medios, infrarrojos y ópticos requieren de visión directa entre el nodo o nodos transmisores y receptores.

2.3.6. Consumo de energía

Los nodos sensores inalámbricos, por lo general, estarán equipados con una fuente energética limitada. En los escenarios de algunas aplicaciones, la recarga de los recursos energéticos puede ser imposible. El tiempo de vida de los nodos sensores, en consecuencia, muestra una gran dependencia del tiempo de vida de la batería. El funcionamiento defectuoso de algunos nodos puede causar cambios de topología significativos y puede requerir re-enrutamiento de los paquetes y reorganización de la red. De aquí que, la conservación y administración energética tomen una importancia adicional.

2.4. Arquitectura de un Nodo

Un nodo sensor, también conocido como mote (principalmente en América del Norte), es un nodo en un sensor de red que es capaz de realizar algún procesamiento, reuniendo información sensible y comunicando con otros nodos conectados en la red. Un mote es un nodo pero un nodo no es siempre un mote.

2.4.1. Componentes de un nodo sensor Wireless

Los principales componentes de un nodo sensor son un micro controlador, transceptor, memoria externa, fuente de alimentación y uno o más sensores como se observa en la figura 09

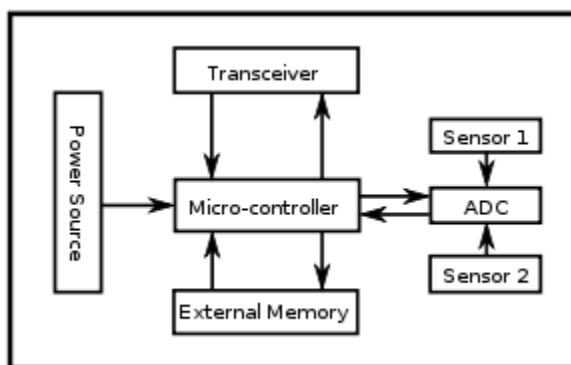


Figura 6: Arquitectura Típica de un nodo

2.4.1.1. Controlador

El controlador realiza tareas, procesa datos y controla la funcionalidad de otros componentes en el nodo sensor. Mientras la mayoría de controlador común es un microcontrolador, otras alternativas que puede ser utilizado como el controlador es: un propósito general desktop microprocesador, procesadores de señal digital, FPGAs y ASICs. Un microcontrolador es a menudo utilizado en muchos sistemas incrustados como nodos de sensor debido a su coste bajo, flexibilidad para conectar a otros dispositivos, facilidad de programar, y consumo de poder bajo. Un microprocesador de propósito general habitualmente tiene un consumo de poder más alto que un microcontrolador, por lo tanto a menudo no es considerado una elección adecuada para un nodo sensor. Procesadores de Señal Digital pueden ser escogidos para aplicaciones de comunicación inalámbricas de banda ancha, pero en Redes de Sensor Inalámbrico la comunicación inalámbrica es a menudo modesta: es decir, más sencillo, más fácil de procesar modulación y la señal que procesa tareas de detecciones reales de los datos son menos complicados. Por lo tanto las ventajas de DSPs no son normalmente de mucha importancia a nodos de sensor inalámbrico. FPGAs Puede ser reprogramado y reconfigurado según requisitos, pero esto toma más tiempo y energía que deseó

2.4.1.2. Transceptor.

Los nodos de sensor a menudo hacen uso de banda de ISM, el cual otorga radio gratuita, asignando un espectro y disponibilidad global. Las elecciones posibles de medios de comunicación de transmisión inalámbrica son frecuencia radiofónica (RF), comunicación óptica (láser) e infrarrojo. Los láseres requieren menos energía, pero necesita de la línea-de-vista para comunicación y es sensible a condiciones atmosféricas. Infrarrojo, como láseres, no necesita antena pero esto está limitado en su capacidad de retransmitir. La comunicación basada en radio frecuencia está más relacionado con la mayoría de aplicaciones WSN. WSNs Tiende a utilizar licencias-frecuencias de comunicación gratuitas: 173, 433, 868, y 915 MHz; y 2.4 GHz. La funcionalidad de ambos transmisor y el auricular están combinados a un dispositivo solo conocido como transceptores. Los transceptores a menudo carecen de identificadores únicos. Los estados operacionales son transmite, recibe, desocupado, y



sueño. Los transceptores de la generación actual los han construido en máquinas estatales que actúa con algunas operaciones automáticamente.

Muchos de los transmisores que operan en modo desocupado tiene un consumo de potencia casi igual a la potencia consumida en modo recibir. Así, es mejor que el transmisor esté completamente cerrado más que dejarlo en modo desocupado cuándo no está transmitiendo o recibiendo. Una cantidad significativa de potencia está consumida cuándo se cambia de modo de sueño para transmitir a modo para transmitir un paquete.

2.4.1.3 Sensores

Los sensores son dispositivos de hardware que producen una respuesta medible a un cambio en una condición física como temperatura o presión. Los sensores miden datos físicos del parámetro para ser controlado. La continua señal analógica producida por los sensores es digitalizada por un convertidor digital-a-analógico y enviada a controladores para procesamiento adicional. Un nodo de sensor tendría que ser pequeño en medida, con un consumo extremadamente bajo de energía, operar en densidades volumétricas altas, ser autónomos y operar desatendido, y ser adaptativo al entorno. Como los nodos de Sensor inalámbrico son típicamente muy pequeños dispositivos electrónicos, sólo pueden ser equipados con una fuente de poder limitada de menos de 0.5-2 amperio-hora y 1.2-3.7 voltios.

Los sensores pueden estar clasificados en tres categorías:

- **Sensores pasivos omnidireccionales:** Captan los datos sin necesidad de manipular el entorno. Son autoalimentados y solo usan la energía para amplificar la señal analógica captada. No hay ninguna noción de “dirección” involucrada en estas mediciones.
- **Sensores pasivos unidireccionales:** Son sensores pasivos que tienen bien definida la dirección desde donde deben captar la información. Un ejemplo típico es una cámara.
- **Sensores activos:** Este tipo de sensores sondean el ambiente, por ejemplo un radar o algún tipo de sensor que genera ondas expansivas a través de pequeñas explosiones.



Figura 7: Diferente tipos de sensores

2.4.1.4. Radio

El dispositivo de radio (por ejemplo, radio CC2420 de los productos Chipcon) proporciona comunicación inalámbrica al nodo sensor, y es compatible con las propiedades específicas de comunicación de las WSN tales como: bajo consumo de energía y velocidad de datos, y distancias cortas. Algunos dispositivos de radio para motes son la después.

2.4.1.5 Memoria Externa

De una perspectiva de energética, la mayoría de clases pertinentes de memoria son el chip de memoria de un microcontrolador y memoria Flash—la RAM de chip-externo es raramente, si alguna vez, se utilizó.

Las memorias Flash están utilizadas debido a su coste y capacidad de almacenamiento. Los requisitos de memoria son muy dependientes de la aplicación. Dos categorías de la memoria basada en el propósito de almacenamiento son: memoria de uso para almacenar datos de aplicación relacionado o personal, y memoria de programa utilizada para programar el dispositivo. Memoria de programa también contiene datos de identificación del dispositivo si está presente.



2.4.1.6. Fuente de Alimentación

Un nodo de sensor inalámbrico es una solución popular cuándo es difícil o imposible de correr unas manos de suministro al nodo de sensor. Aun así, desde el nodo de sensor inalámbrico es a menudo colocado en un hard-to-reach localizado, cambiando la batería regularmente puede ser costosa e inconveniente. Un aspecto importante en el desarrollo de un nodo de sensor inalámbrico es asegurarse que hay siempre la energía adecuada disponible para alimentar el sistema. El nodo de sensor consume potencia del sensor, comunicando y procesando datos. Más energía es requerida para la comunicación de datos que para cualquier otro proceso. La energía que cuesta de transmitir 1 Kb de una distancia de 100 metros (330 ft) es aproximadamente igual como aquella utilizada para la ejecución de 3 millones de instrucciones por unas 100 millones de instrucciones por segundo/W de procesador. La potencia está almacenada en cualquier baterías o condensador. Las baterías, ambos recargable y no-recargable, es la fuente principal de suministro de potencia para nodos de sensor. Son también clasificados según el material electroquímico utilizado para los electrodos como NiCd (níquel-cadmio), NiZn (níquel-zinc), NiMH (níquel-hidruro de metal), y litio-ión. Los sensores actuales son capaces de renovar su energía de fuentes solares, diferencias de temperatura, o vibración. Dos políticas de ahorro de energía son usadas por el Administrador de Potencia Dinámico (DPM) y Escalado de Voltaje Dinámico (DVS). DPM Conserva la energía por cerrar partes del nodo de sensor que no está actualmente utilizado o activo. El esquema de un DVS varía los niveles de poder dentro del nodo de sensor que depende de la carga de trabajo no-determinada. Al variar el voltaje junto con la frecuencia, es posible de obtener reducción cuadrática en consumo de poder.

https://es.wikipedia.org/wiki/Nodo_sensor

2.5. Comparativa de las motas o nodos inalámbricos

En la siguiente Tablas 1 podemos comparar las principales características de los nodos inalámbricos para poder tener un conocimiento más detallado del mismo.



Figura 8: Familia de Motas Mica y Telos.



Tabla 1. Comparativa de nodos inalámbricos

Nombre	Compañía	Microcontrolador	Memoria Programas	SRAM	Memoria Datos	Transceptor	Frecuencia	Protocolo	Max. Tx.	Aliment.
Imote2	Crossbow	Marvell PXA271	32 MB	256 kB	32 MB	CC2420	2400 MHz	802.15.4	250 kbps	3XAAA
IRIS	Crossbow	ATmega1281	128 kB	8 kB	512 kB	RF230	2400 MHz	802.15.4/ ZigBee	250 kbps	2xAA
Micaz	Crossbow	ATmega128L	128 kB	4 kB	512 kB	CC2420	2400 MHz	802.15.4/ ZigBee	250 kbps	2xAA
TelosB	Crossbow	TIMSP430	48 kB	10 kB	1024 kB	CC2420	2400 MHz	802.15.4	250 kbps	2xAA/US B
WeBee 3	ceesar.ch	Intel 8051	128 kB	8 kB	-	CC2430/ CC2431	2400 MHz	802.15.4/ ZigBee	250 kbps	Sanyo CR1/3NT1
WeBee 4	ceesar.ch	16 bit XAP2b	128 kB	85 kB	-	Ember EM250	2400 MHz	802.15.4/ ZigBee	250 kbps	-
SquidBee Arduino	Libelium CD	ATmega 168	16 kB	1 kB	-	XBee ZNet 2.5	2400 MHz	802.15.4/ ZigBee	250 kbps	Batería 9V
KMote	Texas Instruments	TIMSP430	48 kB	10 kB	-	CC2420	2400 MHz	802.15.4	250 kbps	2xAA
TIP700CM	Max For	MSP430F1611	48 kB	10 kB	1 MB	TR1000	2400 MHz	802.15.4	250 kbps	2xAA
zPart	teco.edu	PIC 16F672x	14 kB	4 kB	512 kB	CC2420	2400 MHz	802.15.4/ ZigBee	250 kbps	Regulable
FireFly	Carnegie Mellon University	ATmega1281 MSP430F161	128 kB	8kB	Slot SD	CC2420 WML- 2.5	2400 MHz	802.15.4 Bluetooth	250 kbps	2xAA
TriBe e Embe	Tritech	XAP2B	8kB	5kB	128 kB	EM250	2400 MHz	802.15.4/ ZigBee	250 kbps	-
SunSPO T	Sun Microsystems	ARM920T	-	512 kB	4MB	CC2420	2400 MHz	802.15.4	250 kbps	Batería 3,7 V



2.6 Estándar IEEE 802.15.4 y Zigbee

Todo sistema u organización de elementos se debe regir según normas que reglamenten su funcionamiento y aplicación. Las Redes de Sensores Inalámbricos no son la excepción. Este tipo de sistema se comunica a través de señales de radio, por lo cual tiene asignado un espectro de la señal electromagnética para conseguir la comunicación entre los dispositivos de la red. El estándar que fija las condiciones para que este enlace se produzca es el IEEE 802.15.4, existen más pero éste es el estándar más empleado. El IEEE 802.15.4 sirve de base para otras especificaciones como ZigBee cuyo propósito es ofrecer una solución completa para este tipo de redes definiendo los niveles superiores de la pila de protocolos que el estándar 802.15.4 no cubre.

2.6.1 Estándar IEEE 802.15.4

El estándar IEEE 802.15.4, cuya última revisión se aprobó en 2006, define una capa de comunicación que se encuentra en el nivel 2 (Enlace de datos) del modelo OSI. Aquí las unidades de la información digital (bits) son gestionados y organizados para convertirse en impulsos electromagnéticos (ondas) en el nivel inferior, el físico. Su objetivo principal es permitir la comunicación entre dos dispositivos. La característica más importante de este estándar es su flexibilidad de red, bajo coste, bajo consumo de energía.

Este estándar fue creado para llenar el hueco existente en el campo de estándares inalámbricos de baja tasa para aplicaciones en redes de sensores. Los estándares existentes hasta el momento en el mercado estaban destinados a aplicaciones con mayores requisitos en cuanto a ancho de banda se refiere, como pueden ser videoconferencias o redes domésticas.

- Los ejemplos más representativos de estas tendencias son:
- IEEE 802.11, también conocido como Wi-Fi
- IEEE 802.15.1 conocido como Bluetooth, que es una tecnología de red inalámbrica de baja potencia y baja tasa para comunicaciones punto a punto.



- IEEE 802.15.3: WPAN (Wireless Personal Area Network) de alta tasa de datos. Se utiliza en aplicaciones que requieren alta tasa de datos o una gran cobertura, lo que supone soluciones complejas con elevado consumo de potencia.

La dificultad que surgía al emplear cualquiera de éstos estándares, era su gran consumo de energía y ancho de banda frente a la baja tasa y bajos requisitos de energía necesaria para las redes de sensores. En el caso de Bluetooth no está diseñado para soportar la comunicación entre redes de varios nodos, por tanto, se necesita un nuevo estándar (IEEE 802.15.4) que cumpla con los siguientes criterios:

- Baja complejidad.
- Muy bajo consumo de energía.
- Baja tasa de datos.
- Radio de cobertura relativamente pequeño.
- Uso de bandas de radiofrecuencia sin licencia.
- Fácil instalación.
- Bajo coste.

El requisito fundamental del estándar IEEE 802.15.4 es un consumo de potencia extremadamente bajo. Su eficiencia energética de este protocolo reside fundamentalmente en el uso de las tramas “Beacon”, que permiten sincronizar los dispositivos de la red para que puedan permanecer en modo ahorro de energía el mayor tiempo posible, esto supone una gran ventaja para el desarrollo WSN que realicen tanto tareas de monitorización como de control. El inconveniente es que, debido al bajo consumo de potencia, el radio de cobertura se ve reducido

La siguiente Tabla 2, muestra una pequeña comparativa entre el estándar 802.15.4 y otros estándares como el Bluetooth y Wi-Fi:

Tabla 2. Comparativa Estándares Wireless

Estándar	Ancho de banda	Consumo de potencia	Ventajas	Aplicaciones
Wi-Fi	Hasta 54 Mbps	400 mA transmitiendo 20 mA en reposo	Gran ancho de banda	Navegar por Internet, redes de ordenadores transferencia de ficheros
Bluetooth	1 Mbps	40 mA transmitiendo 0.2mA en reposo	Interoperatividad , sustituto del cable	Wireless USB, móviles, informática doméstica
802.15.4	250 Kbps	1,8 mA transmitiendo 5,1 μA en reposo	Batería de larga duración, bajo coste	Control remoto, productos dependientes de la batería, sensores etc.

Las frecuencias definidas por el estándar IEEE 802.15.4 se reparten entre los 27 canales disponibles y las bandas de frecuencias respectivas que se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Bandas de frecuencia utilizadas por el estándar IEEE 802.15.4

Banda RF	Rango de frecuencias (MHz)	Tasa de datos (Kbps)	Número de canal	Área geográfica
868 MHz	868,3	20	0(1 canal)	Europa
915 MHz	902-928	40	1-10 (10 canales)	América, Australia
2400 MHz	2405-2480	250	11-26 (16 canales)	Todo el mundo

La tecnología inalámbrica basada en IEEE 802.15.4 permite comunicaciones de corto alcance con distancias de hasta 75 m y bajo consumo; está diseñado para utilizar bandas de frecuencia sin licencia. Pueden funcionar en las bandas 868 MHz, 915 MHz y 2400 MHz, aunque la banda de 2400 MHz es la más utilizada por las siguientes razones:

- Uso sin licencia disponible en todo el mundo.
- Tasa de datos más alta y mayor número de canales.
- Menor consumo de potencia (debido a que se tarda menos tiempo en enviar y recibir porque la tasa de datos es más alta).
- Banda de frecuencias comúnmente empleada en el mercado (también utilizada por Bluetooth y el estándar IEEE 802.11).

Las técnicas que utiliza este estándar para evitar que todos los nodos emitan al mismo tiempo son:

- CSMA-CA: Cada nodo debe analizar la red antes de transmitir. Si la energía más alta se encuentra en un nivel específico, el nodo espera al transceptor durante un tiempo al azar e intenta de nuevo.
- GTS: La segunda es una garantía de tiempo. Este sistema utiliza un nodo central (PAN coordinador), que da las franjas horarias de tiempo para cada uno de los nodos de modo que cualquier nodo sabe cuando tiene que transmitir.

2.6.1.1 Arquitectura del estándar IEEE 802.15.4

La arquitectura definida en el estándar IEEE 802.15.4 se divide en dos niveles: capa física y subcapa MAC (junto con la subcapa LLC). El conjunto de subcapa MAC y subcapa LLC se conoce como capa de enlace de datos. La arquitectura descrita se muestra en la Figura 14:

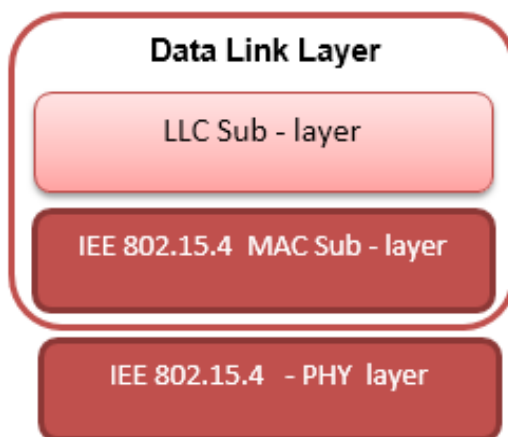


Figura 9. Arquitectura de IEEE 802.15.4



A continuación se definen las funciones y servicios de ambas capas:

➤ Capa física

La capa física actúa como interfaz con el medio físico de transmisión, radio en este caso, e intercambia bits de datos con el medio y con la capa superior, la subcapa MAC.

Las funciones de la capa física con el medio son las siguientes:

- Estimación del canal.
- Comunicaciones a nivel de bit (modulación y demodulación de bits y sincronización de paquetes).

La capa física ofrece a la subcapa MAC los siguientes servicios:

- PHY Data Service: proporciona un mecanismo de envío de datos a la subcapa MAC.
- PHY Management Services: proporciona mecanismos para controlar la configuración y la funcionalidad de las comunicaciones radio a la subcapa MAC.

La información necesaria para gestionar la capa física se almacena en una base de datos llamada PHY PIB.

➤ Subcapa MAC

Las funciones principales de la subcapa de control de acceso al medio (MAC) son las siguientes:

- Proporcionar servicios para que los dispositivos puedan asociarse o desasociarse de la red.
- Proporcionar control de acceso a los canales compartidos.
- Generación de beacons, si procede.
- Gestión de Guaranteed Timeslot (GTS), si procede.

La subcapa MAC ofrece a la capa superior los siguientes servicios:

- MAC Data Service (MCPS): proporciona un mecanismo de envío de datos a la capa superior.



- MAC Management Services (MLME): proporciona mecanismos para controlar la configuración y la funcionalidad de las comunicaciones radio y de red de la capa superior.

La información necesaria para gestionar la subcapa MAC se almacena en una base de datos llamada MAC PIB.

2.6.2 Zigbee

Zigbee es un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica. Su objetivo son las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías.

Fue un proyecto formado por seis promotores (Honeywell, Invensys, Mitsubishi, Motorola, Philips, y Samsung) y más de 80 participantes. El primer perfil se declaró a mediados de 2003, se definieron especificaciones globales de aplicaciones inalámbricas fiables, económicas y de baja potencia basadas en la norma IEEE 802.15.4. El siguiente diagrama muestra la organización básica:

Las características básicas de ZigBee son:

- Menor potencia y menor coste que otras WPAN (como Bluetooth).
- Potencia Tx 1mW(hasta 10mW en CE, hasta 100 mW en EEUU)
- Los nodos están gran parte del tiempo “dormidos” (Larga duración: 2 años).
- Rango alcance: 10-100 m, hasta 400 m con 10 mW).
- Bit-rate entre los 20kB/s y 250kB/s.
- Se permiten hasta un total de 65534 nodos/red.
- 3 bandas comunicación: 868MHz, 915MHz, 2.4GHz



2.7 PROTOCOLOS DE ENRUTAMIENTO PARA WSN

Los nodos no tienen un conocimiento de la topología de la red, deben descubrirla. La idea básica es que cuando un nuevo nodo, al aparecer en una red, anuncia su presencia y escucha los anuncios broadcast de sus vecinos. El nodo se informa acerca de los nuevos nodos a su alcance y de la manera de enrutarse a través de ellos, a su vez, puede anunciar al resto de nodos que pueden ser accedidos desde él. Transcurrido un tiempo, cada nodo sabrá que nodos tiene alrededor y una o más formas de alcanzarlos.

Los algoritmos de enrutamiento en redes de sensores inalámbricas tienen que cumplir las siguientes normas:

- Mantener una tabla de enrutamiento razonablemente pequeña
- Elegir la mejor ruta para un destino dado (ya sea el más rápido, confiable, de mejor capacidad o la ruta de menos coste)
- Mantener la tabla regularmente para actualizar la caída de nodos, su cambio de posición o su aparición
- Requerir una pequeña cantidad de mensajes y tiempo para converger

2.7.1 Modelos de enrutamiento

2.7.1.1 Modelo de un salto

Este es el modelo más simple y representa la comunicación directa. Todos los nodos en la red transmiten a la estación base. Es un modelo caro en términos de consumo energético, así como inviable porque los nodos tienen un rango de transmisión limitado. Sus transmisiones no pueden siempre alcanzar la estación base, tienen una distancia máxima de radio, por ello la comunicación directa no es una buena solución para las redes inalámbricas.

2.7.1.2. Modelo Multi-hop

En este modelo, un nodo transmite a la estación base reenviando sus datos a uno de sus vecinos, el cual está más próximo a la estación base, a la vez que este enviará a otro nodo más próximo hasta que llegue a la estación base. Entonces la información viaja de la fuente al destino salto a salto desde un nodo a otro hasta que llega al destino. En vista de las limitaciones de los sensores, es una aproximación viable.

Un gran número de protocolos utilizan este modelo, entre ellos todos los MultiHop de Tmote Sky y Telos: MultiHop LQI, MintRoute, Router, etc.

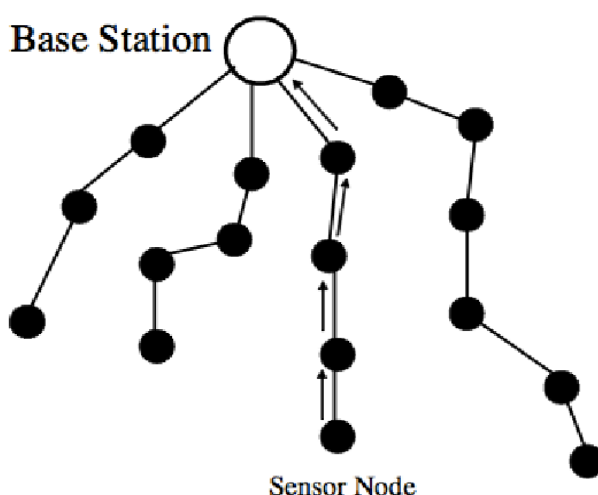


Figura 10. Distribución en una red de motes con una mote base

2.7.1.3. Modelo esquemático basado en clústeres

Algunos otros protocolos usan técnicas de optimización para mejorar la eficacia del modelo anterior. Una de ellas es la agregación de datos usada en todos los protocolos de enrutamiento basados en clústeres. Una aproximación esquemática rompe la red en capas de clústeres. Los nodos se agruparán en clústeres con una cabeza, la responsable de enlutar desde ese clúster a las cabezas de otros clústeres o la estación base. Los datos viajan desde un clúster de capa inferior a uno de capa superior. Aunque, salta de uno a otro, lo está haciendo de una capa a otra, por lo que cubre mayores distancias.



Esto hace que, además, los datos se transfieran más rápido a la estación base.

Teóricamente, la latencia en este modelo es mucho menor que en la de MultiHop. El crear clústeres provee una capacidad inherente de optimización en las cabezas de clúster. Por tanto, este modelo será mejor que los anteriores para redes con gran cantidad de nodos en un espacio amplio (del orden de miles de sensores y cientos de metros de distancia).

2.8. SISTEMA OPERATIVO PARA NODOS SENSORES

Las necesidades que tiene un nodo de una WSN son totalmente distintas a las que pueda tener otro dispositivo como puede ser un PC, por lo tanto estos nodos tienen sus propios sistemas operativos.

Los sistemas operativos para WSN son típicamente menos complejos que los de propósito general, tanto debido a los requisitos especiales de las aplicaciones en las que se usan, como a las restricciones de recursos encontradas en las plataformas para PC y debido a esto, estos sistemas no necesitan incluir el soporte de interface de usuario. Además, las restricciones de los recursos en términos de memoria hace imposible de implementar los mecanismos de memoria virtual.

El hardware de las redes inalámbricas de sensores no es muy diferente al de sistemas empujados tradicionales y por lo tanto es posible utilizar sistemas como Mantis, eCos o uC/OS. Sin embargo, estos sistemas están diseñados para usar operaciones en tiempo real. A diferencia de los tradicionales sistemas operativos para sistemas empujados, los sistemas desarrollados para redes de sensores inalámbricas no tienen como objetivo apoyar operaciones en tiempo real.

A continuación se describe algunos sistemas operativos conocidos en el ámbito de las WSN:

2.8.1. Sistema operativo TINYOS

El diseño de TinyOS [34] desarrollado por la Universidad de Berkeley, está basado en responder a las características y necesidades de las redes de sensores, tales como reducido tamaño de memoria, bajo consumo de energía, operaciones de concurrencia intensiva (simultaneidad en la ejecución de múltiples tareas interactivas). Además se encuentra optimizado en términos de uso de memoria y eficiencia de energía.

TinyOs es quizás el primer sistema operativo diseñado específicamente para redes de sensores inalámbrica. A diferencia de la mayoría de los otros sistemas operativos, TinyOS se basa en un modelo de la programación controlado por eventos en vez de multiprocesos. Los programas de TinyOS están compuestos por eventos y tareas guiadas.

Tanto TinyOS como los programas escritos para él son escritos en un lenguaje de programación especial llamado nesC, que es una extensión del lenguaje de programación C. NesC esta diseñado para determinar las propiedades entre tareas y eventos.

El diseño del Kernel (núcleo) de TinyOS está basado en una estructura de dos niveles de planificación.

- Eventos: Pensados para realizar un proceso pequeño (por ejemplo cuando el contador del timer se interrumpe, o atender las interrupciones de un conversor análogo-digital). Además pueden interrumpir las tareas que se están ejecutando.
- Tareas: Las tareas están pensadas para hacer una cantidad mayor de procesamiento y no son críticas en tiempo. Las tareas se ejecutan en su totalidad, pero la solicitud de iniciar una tarea, y el término de ella son funciones separadas.

Con este diseño permitimos que los eventos (que son rápidamente ejecutables), puedan ser realizados inmediatamente, pudiendo interrumpir a las tareas (que tienen mayor carga computacional en comparación a los eventos).



2.8.2. Sistema operativo Contiki.

Es un pequeño sistema operativo de código abierto, altamente portable y multitarea, desarrollado específicamente para su implementación en sistemas empuetrados, como son microcontroladores o nodos WSN. Aunque incluye el gestor de tareas y varias pilas de protocolos de comunicaciones (TCP/IP, por ejemplo) es un sistema ligero, tanto en el tamaño de los programas como en el uso de la memoria RAM. Esto se consigue con un sistema basado en eventos, que carga y descarga dinámicamente los programas en los hilos correspondientes según se va ejecutando la aplicación.

2.8.3. Sistema operativo eCos (embedded Configurable operating system)

Es un sistema operativo de código abierto, gratuito y de tiempo real desarrollado para sistemas empuetrados y para aplicaciones que necesitan un procesador multisesión. Desarrollado en C, con capas y APIs compatibles con POSIX y uLTRON, es personalizable según la aplicación, aunque es indicado especialmente para aquellos dispositivos que cuenten con muy poca memoria RAM. Además eCos tiene una estrecha relación con los sistemas UNIX, siendo posible incluso soportar sistemas Linux empuetrados [38].

2.8.4. Sistema operativo MANTIS (Multimodal system for Networks of In-situ Wireless Sensors)

Es un reciente sistema operativo empuetrado multiplataforma específico para redes de sensores inalámbricos. Ante el incremento de complejidad en las tareas realizadas por las redes de sensores como comprensión, agregación y procesamiento de señales, los procesos múltiples en Mantis sensor OS (MOS) permite interpaginar tareas complejas con tareas susceptibles de manera que se mitiguen los problemas de overflows en los buffers. Otra característica importante de MANTIS es su eficiente uso de la memoria RAM (menos de 500 bytes incluyendo el kernel, los controladores y la pila de comunicaciones) y de la energía (incluye un modo durmiente).

2.9. CASAS DE DISPOSITIVOS PARA WSN

A pesar que las redes de sensores son una tecnología reciente, existen varios fabricantes que se dedican al desarrollo de estos dispositivos, y entre los más importantes se encuentran:

2.9.1. Crossbow

La tecnología desarrollada por Crossbow ha estado a la vanguardia de la tecnología de sensores inteligentes durante más de una década desde que fue fundada en 1995, y ha enviado cientos de miles de sensores inteligentes a más de 4000 clientes a lo largo del mundo. Hoy, Crossbow es el líder en cuanto a tecnología de sensores inalámbricos.



Figura 11. Logotipo de Crossbow

Especializada en el mundo de los sensores, es una empresa que desarrolla plataformas hardware y software que dan soluciones para las redes de sensores inalámbricas. Entre sus productos encontramos las plataformas Mica, Mica2, Micaz, Mica2dot, telos y telosb. Dispone también de gran cantidad de módulos Gateway y placas sensoras.

2.9.2. Shockfish s.a.

Empresa suiza que desarrolla TinyNode pensando en aplicaciones industriales. La misión de esta empresa es hacer de puente entre la investigación académica y el mundo laboral de la industrial en el entorno de redes de sensores inalámbricos.



Figura 12. Logotipo de Schockfish

2.9.3. Sentilla

Otra de las empresas dedicadas a las redes de sensores inalámbricas, también llamada anteriormente Mote IV. Es la encargada de los motes Tmote Sky, diseñados también por la Universidad de Berkeley y preparados para ser usados por TinyOS. Fue Joseph Polastre, antiguo doctorando quien formó la compañía Mote IV. Ha desarrollado la plataforma Tmote Sky y Tmote Invent.



Figura 13. Logotipo de Sentilla

Algunas de las firmas de analistas y medios de tecnología del mundo han reconocido a Sentilla por su innovación, valor y liderazgo. La AlwaysOn seleccionó a Sentilla como uno de los ganadores de la Going Global 200 in 2011. La inclusión en el Global 200 de GoingGreen significa el liderazgo entre sus compañeros y enfoques innovadores y tecnologías que pueden perturbar los mercados existentes y operadores ya existentes.

2.9.4. BTnode

Los módulos fabricados por BTnode han sido desarrollados por el ETH Zurich, conjuntamente por el Computer Engineering and Networks Laboratory (TIK) y el Research Group for Distributed Systems.

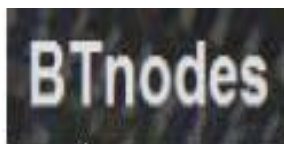


Figura 14. Logotipo de BTnodes

2.9.5. Sun

Sun SPOT (Sun Small Programmable Object Technology) es un mote para WSN desarrollado por Sun Microsystems. El aparato está construido bajo la normativa estándar IEEE 802.15.4. Al contrario de otros nodos inalámbricos, el Sun SPOT está construido bajo la máquina virtual java Squawk.



Figura 15. Logotipo de Sun microsystems

2.9.6. Ember

Ember es uno de los promotores de la Zigbee Alliance y las soluciones propuestas por esta empresa cumplen la capa física según el estándar IEEE 802.15.4.

La tecnología Ember basada en Zigbee es la adecuada para aplicaciones de redes de sensores escalables que requieran una implementación en malla de bajo consumo como automatizaciones en edificios, entre otras.



CAPITULO III

INGENIERIA BASICA

3 .APLICACIÓN WSN ORIENTADA A LA MEDICINA

3.1.INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la salud, las redes de sensores pueden llevar a cabo diferentes acciones que monitoreen pacientes, diagnostiquen enfermedades, administren la medicina o monitoreen el movimiento de los pacientes en los hospitales.

El uso de estas redes de sensores inteligentes en el ámbito de la monitorización de la salud reduce considerablemente el número de hospitalizaciones y visitas médicas y con ello los costes anuales del cuidado de la salud en todo el mundo.

En este capítulo se presentará una visión general de la aplicación de las WSN en el ámbito de la medicina, también se describirá detalladamente algunas aplicaciones desarrolladas en los últimos tiempos.

3.2.VISIÓN GENERAL DE LA APLICACIÓN DE WSN EN LA MEDICINA

Las aplicaciones médicas de las redes de sensores inalámbricos abarcan hoy en día diferentes áreas de la salud, como por ejemplo, monitorización de la frecuencia cardiaca, presión arterial, medidas de la temperatura corporal, medida de los niveles de glucosa, entre otros.

Una de las aplicaciones que está cobrando una gran relevancia es la monitorización continuada de la salud en el caso de personas mayores: Los médicos quieren ser capaces de monitorizar más de cerca los posibles cambios que sucedan en el estado de salud de sus pacientes pero sin que estos tengan que acudir a la consulta. Como resultado de esta demanda, se precisan dispositivos capaces de realizar una monitorización precisa,

continua, remota y transparente del paciente. Los sensores inalámbricos pueden cumplir estos requerimientos, de ahí las recientes investigaciones en la creación de sensores inteligentes inalámbricos para la monitorización de variables fisiológicas.

Actualmente el tratamiento de la diabetes pasa por la diaria monitorización de los niveles de glucosa en sangre del paciente. Para ello, se usan lancetas de forma que mediante una punción se obtenga la cantidad de sangre necesaria para realizar el análisis. Este sistema presenta una serie de inconvenientes ya que la punción continuada varias veces al día, durante años, puede llegar a dañar la piel e incluso los vasos sanguíneos de la zona. Mediante la implantación de sensores inalámbricos inteligentes se podrían realizar mediciones continuas sin necesidad de que el paciente sienta dolor alguno y dichas mediciones serían transmitidas a un receptor externo. De esta forma se podría llevar un control aún más exhaustivo de los niveles de glucosa alertando con mayor rapidez al usuario de las posibles fluctuaciones en los niveles que se produjesen. La implementación física del detector de glucosa puede observarse en la siguiente figura:

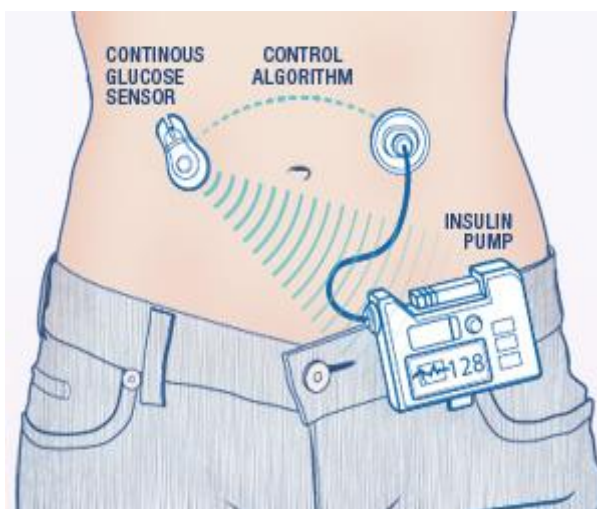


Figura 16. Implementación física para la monitorización de los niveles de glucosa.

El sensor para la monitorización de los niveles de glucosa, es un sensor subcutáneo que se coloca en la piel del paciente. Su funcionamiento se basa en las características ópticas de la glucosa en el espectro infrarrojo.

Otra de las aplicaciones muy comunes en el campo de la medicina son las pulsioximetrías, ya que permiten la monitorización no invasiva de los niveles de oxígeno transportado por la hemoglobina en el interior de los vasos sanguíneos. Se utilizan tanto para realizar una evaluación inicial de los pacientes con alguna patología respiratoria, como para un seguimiento continuo de los pacientes inestables por su situación respiratorio y/o hemodinámica.

Este parámetro vital se sitúa prácticamente al nivel del resto de constantes vitales como la presión sanguínea, la frecuencia cardíaca, la frecuencia respiratoria y la temperatura. En se aborda el desarrollo de un oxímetro inalámbrico que entre otras cosas permite mayor libertad de movimiento.

Los sensores inteligentes también se pueden utilizar con el fin de sustituir tareas de sistemas biológicos. Un ejemplo de dicha utilización la podemos observar en, donde se describe una aplicación biomédica capaz de provocar la estimulación eléctrica necesaria para que el sujeto identifique la presencia de objetos del entorno.

El sistema se basa en un chip de prótesis de retina. Este chip está formado por 100 micro sensores, construido e implementado en el ojo humano. De esta manera, el paciente cuya visión se limita o se nubla puede adquirir un nivel de percepción que le permita realizar sus actividades diarias sin problema alguno.

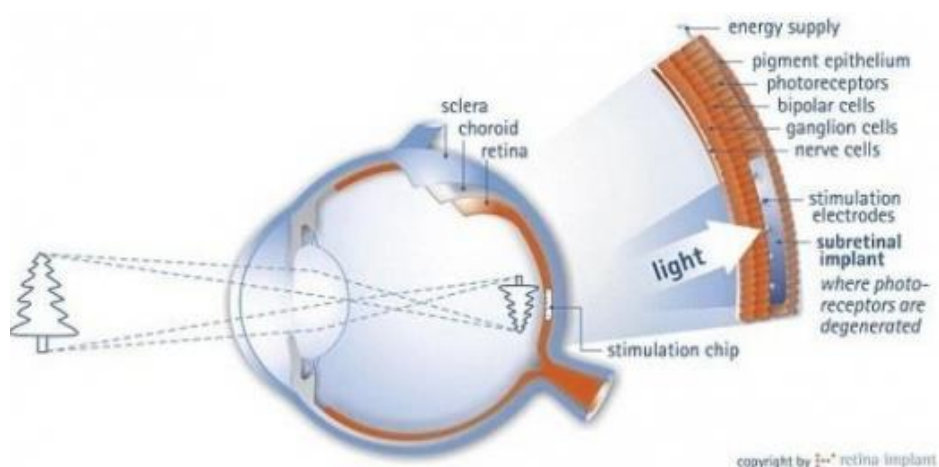


Figura 17. Localización del sensor en el ojo.

Otro de los ámbitos que merecen especial atención es la detección precoz de cáncer. Aunque se están llevando a cabo grandes avances en la lucha contra el cáncer, sigue siendo necesaria una detección temprana de la enfermedad para obtener resultados favorables en su cura. Los sensores inalámbricos inteligentes pueden jugar un papel primordial en la detección temprana de la enfermedad.

Por ejemplo, la imagen posterior presenta un esquemático de un sensor inalámbrico de onda acústica (SAW) para la detección precoz del cáncer. Dicho sensor incorpora una biocapa de anticuerpos receptores de proteínas de células cancerosas, de forma que al detectar una variación de la densidad en la superficie biológica del sensor se detecte la presencia de células cancerosas.

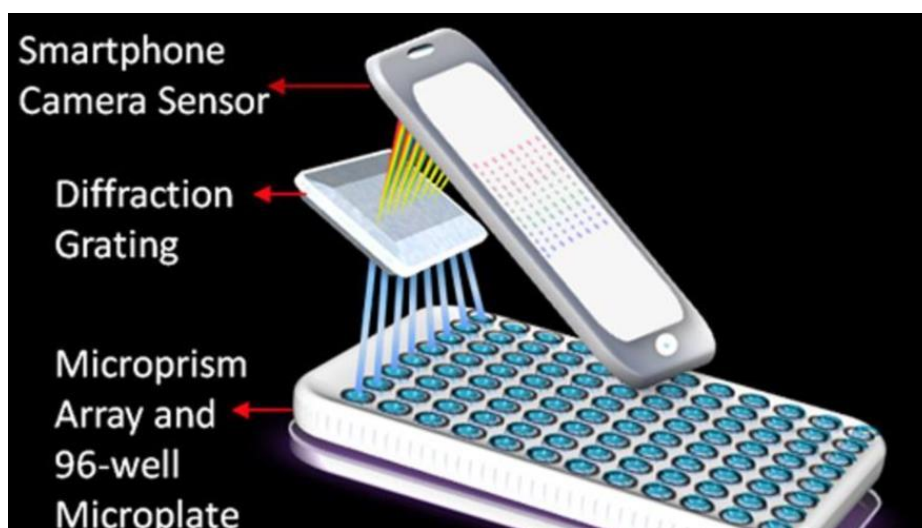


Figura 18. Sensor para la detección precoz del cáncer.

3.3.DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA APLICACIÓN DE WSN EN EL ÁMBITO MÉDICO

En esta sección se describirá detalladamente la aplicación de las redes de sensores inalámbricos en el área médica para medir dos importantes signos vitales del ser humano: la frecuencia cardíaca y la temperatura corporal



3.3.1 Red inalámbrica para Monitoreo de la salud : Frecuencia Cardíaca y Sensor de temperatura

Los signos vitales que requieren vital atención en el cuidado de la salud de las personas es la frecuencia cardíaca y la temperatura corporal, es por ello que se desarrolló un sistema para medir la frecuencia cardíaca y la temperatura del cuerpo. A continuación se presenta un sistema para medir estos dos signos vitales basados en sensores inalámbricos.

3.3.1.1. Introducción

Se trata de aprovechar el potencial de la tecnología de la información para mejorar la calidad, seguridad, y eficiencia en los cuidados de la salud.

En la salud doméstica, el uso de tecnologías permitirá a los pacientes monitorizar sus propios signos vitales desde casa y comunicar los resultados a un profesional del hospital inalámbricamente, que podría aumentar la capacidad de enfrentar un problema antes de que un paciente requiera cuidados serios

En general, IT permitirá a los proveedores del cuidado de la salud, recoger, almacenar, recuperar y transferir información electrónicamente, ya que en el campo de la salud humana, recoger datos en tiempo real, es vital.

Así, la capacidad para monitorizar remotamente los signos vitales en tiempo real supone un área de creciente interés. La portabilidad, facilidad de despliegue / escalabilidad, capacidad de medir en tiempo real, reconfiguración y auto organización son algunas de las ventajas de usar una red de sensor inalámbrico en un sistema de salud.

Por otro lado, los dispositivos inalámbricos utilizando algunas de las tecnologías de la comunicación existentes, tienen algunas limitaciones. Algunas de ellas son caras y no energéticamente eficientes. Otras, como Bluetooth limita el número de nodos que pueden comunicarse entre sí en un tiempo dado.



De esta manera los sensores inalámbricos se convierte en un elemento atractivo para el presente sistema de monitoreo ya que no necesitan conexión de un gran ancho de banda como WiFi. En su lugar, necesitan baja latencia y muy bajo consumo de energía para una larga vida de las baterías.

Por otro parte la tecnología ZigBee es otra buena alternativa, por que funciona con baja energía y es capaz de conectar un gran número de dispositivos a una única red. Además, usa el ancho de banda de frecuencia de 2.4GHz y permite a una aplicación inalámbrica usar protocolos de comunicación estándar basados en el estándar IEEE 802.15.4 para redes inalámbricas de área personal. También ofrece una comunicación de baja latencia entre dispositivos sin que requiera sincronización de los retrasos en la red.

De esta manera se combinó la tecnología Zigbee y el microcontrolador Arduino.

También se llevó acabo un experimento en un grupo de 50 voluntarios para medir el ritmo cardíaco y la temperatura de la piel del cuerpo.

Además se aplicó la ecuación Burton para obtener la temperatura corporal media y se concluyó que la ecuación daba una buena estimación de la temperatura corporal media.

A continuación se presenta el sistema inalámbrico y se describe algunos detalles de la frecuencia cardíaca y los sensores de la temperatura corporal.

3.3.1.2. Descripción del sistema

Una visión conceptual del sistema se muestra en la Figura.21. El núcleo del sistema consiste en un hardware y software del micro controlador Arduino, un sensor de temperatura, un sensor de frecuencia cardíaca, un radio XBee y un protocolo de sistema de comunicación inalámbrica. El sensor se envuelve alrededor de la muñeca.

Se muestra la frecuencia cardíaca y la temperatura corporal media en la pantalla LCD, se encripta los datos y los transmite a un PC remoto usando la red XBee. El coordinador es conectado a un PC remoto que ejecuta un programa para monitorear y procesar los datos que llegan.

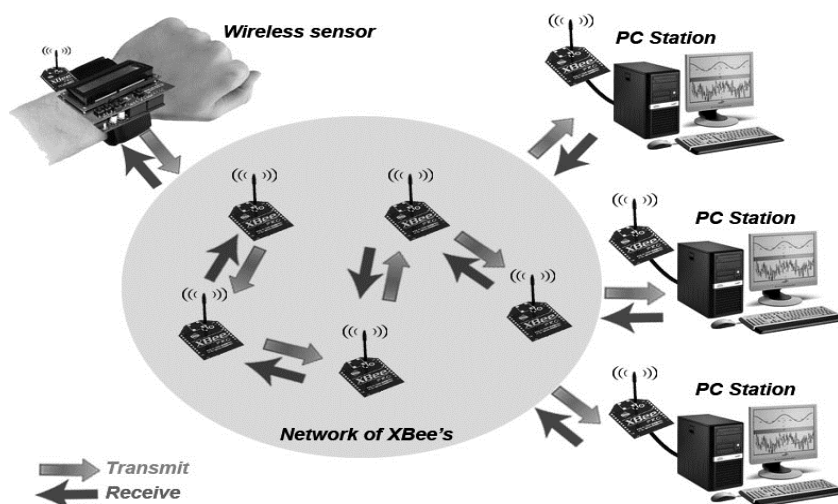


Figura 19. Vista Conceptual del sistema

A. El hardware del micro controlador Arduino

El Arduino es un micro controlador de placa única, lo cual permite que los procesos electrónicos en proyectos multidisciplinarios sean más accesibles [49]. El hardware consiste en una simple tarjeta Arduino con un procesador de 8 bits de Atmel AVR y soporte de entradas y salidas a bordo. Los conectores del Arduino permiten que la placa del CPU se conecte a una amplia variedad de módulos intercambiables que se pueden añadir, conocidos como Shields (Escudos). Shield XBee permite que un módulo XBee se conecte a la placa de Arduino.



Figura 20. Arduino, XBee shield and modulo XBee



B. El software del micro controlador Arduino

El IDE de Arduino es una aplicación multiplataforma escrita en Java. Se deriva del IDE para el procesamiento de lenguaje de programación y el proyecto Wiring [49]. El software de Arduino consiste en un compilador de lenguaje de programación estándar y el cargador de arranque que se ejecuta en la placa. El hardware Arduino puede ser programado usando un lenguaje de programación específico el cual es similar a C++. Esto hace la programación del microcontrolador mucho más fácil. Se puede transmitir los datos escribiéndolos en un puerto serial, usando un simple comando de comunicación serial, que se necesita para la sincronización, inicialización y/o usar interruptores. El software Arduino es gratis y de código abierto.

C. Radio Xbee

El ZNet XBee-PRO 2.5 (antes conocido como Serie 2/PRO y diseñado para operar dentro del protocolo ZigBee) atiende las necesidades únicas de bajo costo y bajo consumo de energía de redes de sensores inalámbricos. Los módulos requieren un mínimo de energía, proporcionar una entrega confiable de datos, operar en la banda de frecuencia de 2,4 GHz y ser compatibles con los adaptadores de entrada/salida analógico / digital

Las interfaces de módulo XBee con un dispositivo host a través de un puerto serial asíncrono de nivel lógico. La Tecnología ZigBee define tres distintos tipos de dispositivos: un Coordinador, un router y un dispositivo final. El XBee Shield permite una placa Arduino para comunicarse de forma inalámbrica utilizando ZigBee. El módulo puede comunicar hasta 100 metros en interiores o 300 pies al aire libre (con line- of-sight).

D. Principio de oximetría del pulso

El principio de oximetría del pulso está basado en las características de la hemoglobina oxigenada y desoxigenada de absorción de luz roja e infrarroja. La hemoglobina oxigenada absorbe más luz infrarroja y permite que pase más luz roja, a través de la hemoglobina desoxigenada que absorbe más luz roja y permite que pase más luz infrarroja [52]. La luz roja está en la longitud de onda de 600-750nm y la luz infrarroja está en la banda de luz de longitud de onda de 850-1000nm.

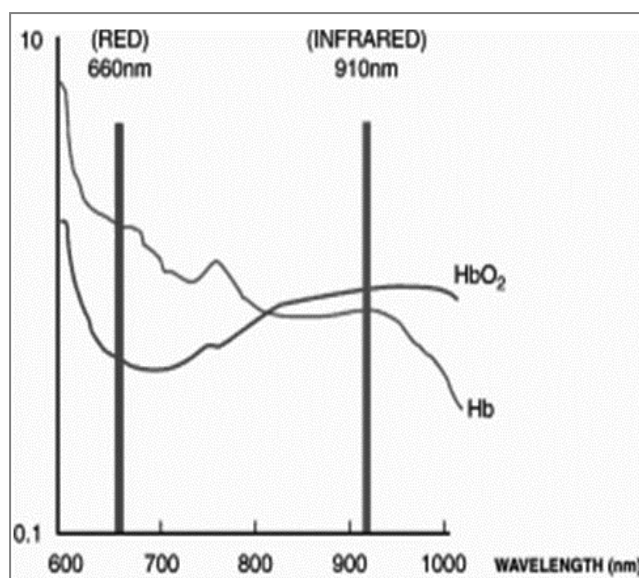


Figura 21: Longitud de onda de infrarrojos y la luz roja

El sensor de frecuencia cardíaca usa un emisor de luz infrarroja que brilla a través de un lugar traslúcido con buena corriente sanguínea. Tiene un emisor que desprende luz IR. Enfrente del emisor está el detector de fotos o fototransistor que recibe la luz que pasa a través o rebota hacia atrás del lugar de medida. Hay dos métodos para enviar luz a través del punto de medida: transmisión y reflectancia.

En el método de transmisión, el emisor y el detector están uno enfrente del otro con el punto de medida en medio, y la luz puede a continuación pasar a través del punto. En el

método de reflectancia, el emisor y el detector están uno al lado del otro en el lugar o punto de medición. La luz rebota de nuevo desde el emisor al detector en todo el punto.

E. Frecuencia cardiaca y configuración del sensor

La Figura 30, muestra un diagrama simplificado de la configuración del hardware. Las señales fuera del fototransistor son pasados a través de un filtro de paso alto (High-pass), una fase de amplificación, y luego, un filtro de paso bajo (Low-pass). La señal es finalmente muestreada por el micro controlador.

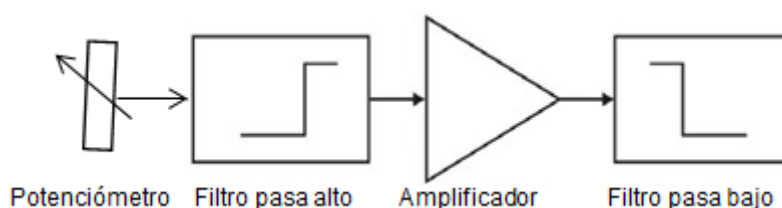


Figura 22: Diagrama simplificado del hardware

Las señales filtradas van a un punto de entrada 3 de LM358 y son ampliadas. El LM358 tiene dos internamente compensados. La primera entrada se usa como amplificador y la segunda como comparador.

Las señales filtradas llevan la información deseada: el latido del corazón o pulso. La salida del punto 1 de LM358 es analógica y lleva un montón de números que indican el nivel de voltaje ampliado detectado del potenciómetro

La histéresis para la mayoría de los circuitos del comparador es la diferencia entre el voltaje de la señal de entrada, que hace que la salida del comparador esté completamente encendida o apagada. Se puede añadir la histéresis a un circuito para reducir la sensibilidad al ruido no a una señal de entrada que se mueve lentamente.

Se puede aumentar una escala de la histéresis del comparador añadiendo un resistor entre la salida y el terminal de entrada PLUS. Esto crea un bucle de retroalimentación. Cuando la salida hace una transición, la retroalimentación cambia el voltaje en la entrada PLUS, lo cual aumenta la diferencia de voltaje entre las entradas PLUS y MINUS.

La salida del comparador (pin 7) se usa para conducir un LED indicando un latido. Ello crea una señal digital (alta o baja) y se usará para calcular la velocidad del corazón.

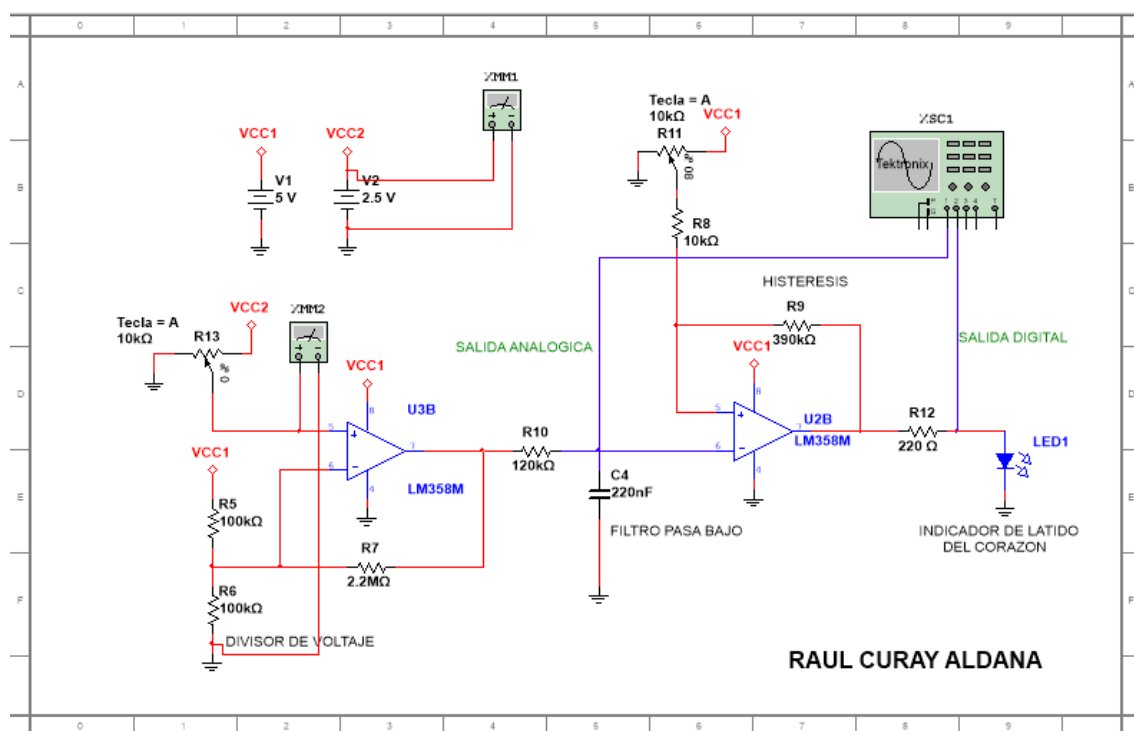


Figura 23. Diagrama completo del esquema del hardware

F. Experimentos y pruebas

Se desarrolló un prototipo de sensor para la frecuencia cardiaca. Se desarrollaron un número de experimentos y pruebas incluyendo hardware y software, durante la etapa de desarrollo. Se hizo un ensayo sobre el prototipo en un número de individuos (un grupo de 50 voluntarios). Las figuras 36, 37, 38 muestran un ejemplo de salida analógica y digital del prototipo:

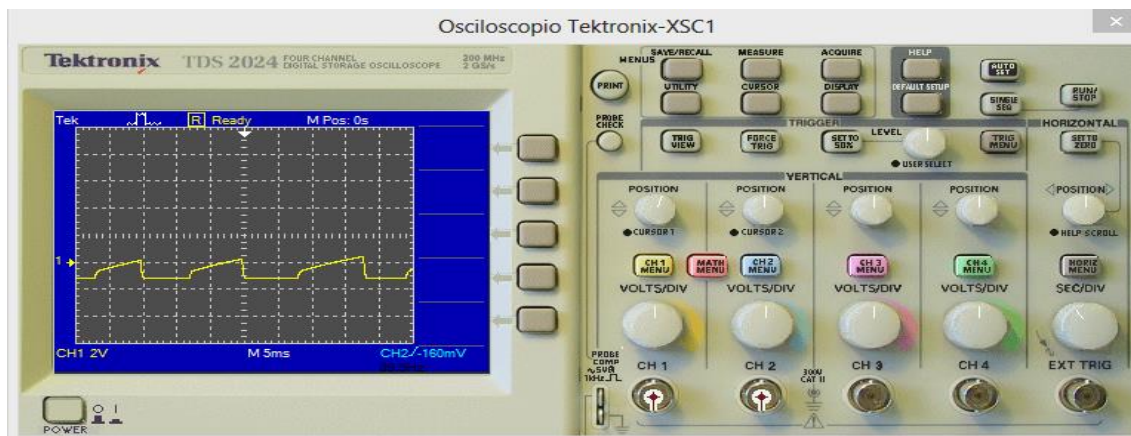


Figura 24. Salida analógica del amplificador operacional

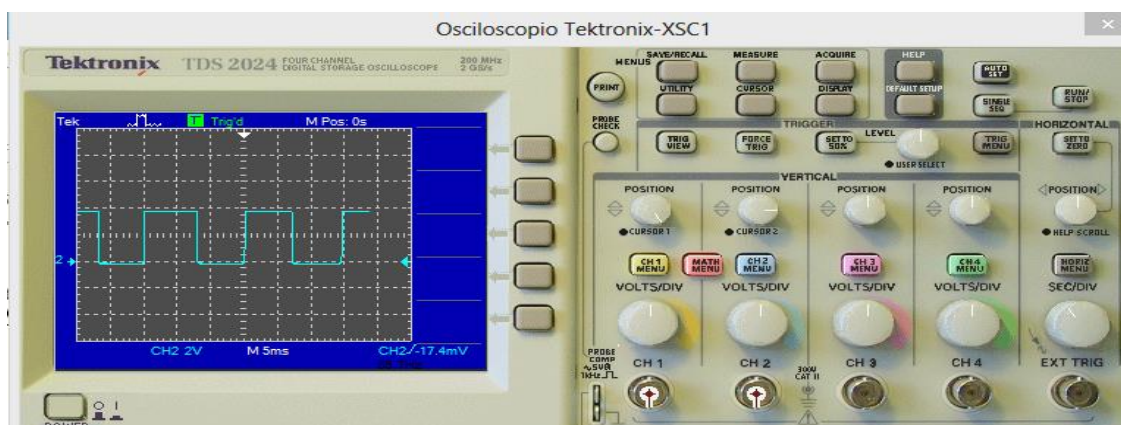


Figure 25: Prueba de la salida digital del comparador

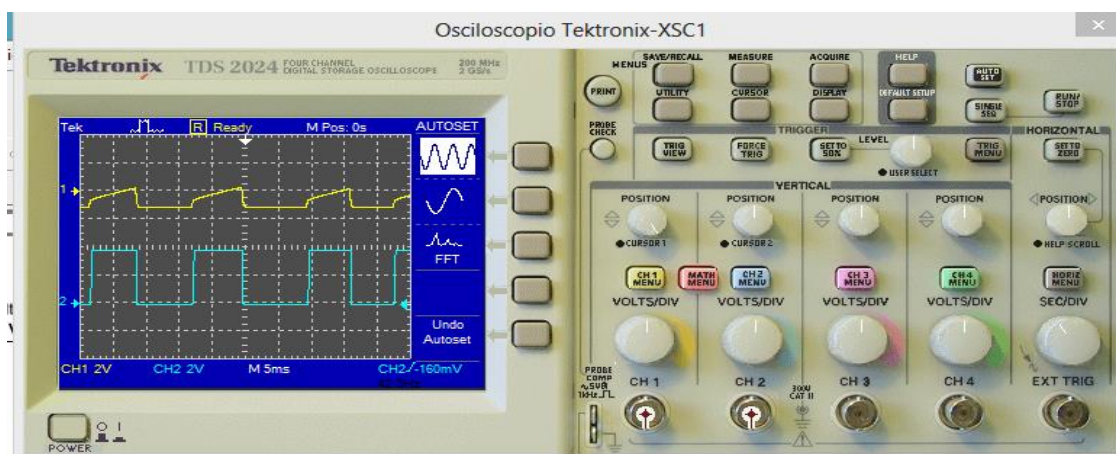


Figure 26: Detección de los latidos



Para ahorrar energía la frecuencia de muestreo para IR es de 10 segundos y el módulo XBee irá a modo reposo hasta que se reciba una orden apropiada del coordinador. Se leen dos muestras analógica y digital. Las señales analógicas son entonces transmitidas a un equipo de PC remoto para posteriores análisis y las muestras digitales se usan para calcular el latido del corazón multiplicando el número de pulso detectado por 6 para obtener los latidos por minuto.

G. Comunicación inalámbrica

La frecuencia cardíaca y señal de temperatura obtenida usando el sensor desarrollado por esta investigación, es capaz de ser enviado a un ordenador a través de la comunicación inalámbrica. Por lo tanto, el sistema es capaz de monitorizar el estado de la frecuencia cardíaca y la temperatura corporal.

ZNet 2.5 firmware permite a los routers o dispositivos finales comunicarse con el Coordinador por defecto el cual hace sencilla la comunicación punto a punto. La Serie de datos se envía al router XBee (o dispositivo final) conectado al microcontrolador Arduino y recibido por el Coordinador

El EPROM del Arduino tiene 512 bites de longitud. Puede ser programado usando la biblioteca EPROM de Arduino. El programa en el micro controlador funciona como sigue:

- a. La EPROM Arduino es programado con un único número asignado a cada paciente. Este número actúa como una clave primaria con el fin de almacenar los datos en una base de datos.
- b. Se calcula la temperatura y frecuencia cardíaca
- c. Los valores anteriores se conservan juntos como un único paquete.
- d. El paquete es codificado
- e. Los datos (el paquete) en el puerto serial Arduino es transmitido a la PC remoto.

H. Factores de error en pulso

Si bien el prototipo tiene muchas ventajas, incluyendo la efectividad en el coste, ligereza y facilidad de uso, hay varios factores que pueden causar errores en la medición, los cuales deben ser tomados en cuenta cuando se utiliza el sensor.

1. Si los usuarios tienen algún material especial en su lugar de medición tal como esmalte de uñas o cubierto por material reflectante.
2. El movimiento del cuerpo puede causar muchos ruidos que reducirán la fiabilidad del dispositivo y error en las lecturas.
3. Si el flujo de sangre es bloqueada debido a la presión en brazos o dedos, la medición correcta se hace imposible.
4. El dispositivo puede cancelar los efectos de las luces ambientales. Sin embargo, si la luz se vuelve demasiado fuerte, el dispositivo solo podría cancelar algunos de los efectos y esto podría causar errores.
5. Si los sensores no están adecuadamente colocados en el sitio de medición, se podría detectar una variedad de ruido, dando mediciones imprecisas.



CAPITULO IV

DIVERSAS APLICACIONES DE WSN ORIENTADA A LA MEDICINA

4. INTRODUCCIÓN

Se presenta un breve resumen de los diferentes proyectos orientados al desarrollo de WSN para la detección de problemas de salud. Esta información podría ser útil a médicos, investigadores, ingenieros, estudiantes interesados en el área de redes de sensores.

4.1. RELACIÓN DE PROYECTOS ORIENTADOS AL DESARROLLO DE WSN APLICADO A LA MEDICINA

Los signos vitales que se monitorizan más comúnmente son el ECG, oximetría de pulso, temperatura corporal, frecuencia cardiaca y la presión arterial. Algunos de estos proyectos son:

UbiMon (Ubiquitous Monitoring Environment for Wearable and Implantable Sensors). Tiene por objeto abordar tópicos generales relacionados con el uso de sensores portables de medidas no invasivas, que capturen eventos transitorios que amenacen la vida de las personas y faciliten la intervención.

SAPHE (Smart and Aware Pervasive Healthcare Environments).

Este proyecto tiene como objetivo desarrollar una plataforma inteligente, de supervisión no invasiva, para el análisis de tendencias de datos a largo plazo. Uno de los principales objetivos de SAPHE es asegurar que los pacientes con enfermedades crónicas sean tratados en un ámbito comunitario o con el apoyo del hogar, siempre que sea posible, lo que permite reducir la demanda de asistencia sanitaria y libera capacidad, al mismo tiempo que posibilita la atención de mas pacientes y permite un uso más eficaz de los recursos, además de ofrecer una atención más personalizada y mejorar la calidad de vida de los pacientes.



SAPHE busca abordar la necesidad de una nueva generación de sistemas de vigilancia de la salud, que permitan la detección temprana del deterioro de la salud mediante la identificación de cambios fisiológicos y metabólicos a lo largo del tiempo.

MobiHealth es uno de los primeros proyectos que integra todos los dispositivos sensores portátiles que una persona lleva consigo durante el día, como teléfonos móviles y relojes. Los sensores miden continuamente y transmiten los datos fisiológicos a los proveedores de servicios de salud a fin de proporcionar una asistencia remota, rápida y fiable en caso de accidente. Este proyecto es uno de los primeros estudios que propone la convergencia de los sistemas de redes diferentes como BAN (Body Area Network), PAN (Personal Area Network) y WAN (Wide Area Network), para permitir un servicio de cuidado de la salud móvil y personalizado.

CodeBlue: Wireless Sensor Networks for Medical Care, Remote Arrhythmia Monitoring System Developed, es una plataforma de hardware y software desarrollado en la Universidad de Harvard. La parte de diseño de hardware incluye el diseño y desarrollo de un oxímetro de pulso, ECG de dos vías, y un tablero sensor para el análisis de movimiento. La arquitectura de software se basa en un modelo publish/subscribe. CodeBlue tiene por objetivo proporcionar la coordinación y comunicación entre los dispositivos médicos inalámbricos de manera ad hoc. Adicionalmente se utiliza un protocolo de detección para que los nodos descubran las capacidades de sensado que poseen cada uno. También se ha integrado un sistema de localización en los nodos, denominado

MoteTrack, el cual es utilizado para localizar los pacientes y los profesionales del cuidado de la salud.

AlarmNet es una red inalámbrica de sensores médicos compuesto de cinco componentes. La red de área corporal es responsable de monitorizar variables fisiológicas y de la ubicación del paciente, esta incluye sensores de frecuencia cardíaca, saturación de oxígeno y ECG desarrollados en el proyecto CodeBlue. La red de sensores fijos proporciona información de contexto espacial y del medio ambiente como la temperatura, el movimiento y la humedad.

LifeGuard, fue desarrollado inicialmente para los astronautas, puede ser utilizado para monitorizar signos vitales. El sistema se compone de tres componentes. La parte de



sensores puede soportar diferentes tipos de sensores tales como ECG, frecuencia respiratoria, oxímetro y presión arterial. Los datos de los sensores son recogidos y almacenados por un dispositivo portátil. Cuenta con acelerómetros de 3 ejes y sensores de temperatura de la piel.

FireLine está diseñado para supervisar las medidas cardiacas de los bomberos para poder tomar las acciones necesarias en el caso de presentar alguna anomalía. El dispositivo se compone de un sensor inalámbrico, un sensor de ritmo cardiaco y tres electrodos.

Baby Glove, consiste de dos sensores colocados en la parte superior del torso del bebé, que contienen un sensor de temperatura y electrodos para monitorizar la frecuencia del pulso del bebé y la hidratación.

Otros proyectos relacionados son: HUMAN++, HealthService 24, WsHC– Wireless Health and Care, Fraunhofer Body Area Network, MobiHealth, Wealthy, HEARTS, MyHeart, AUBADE: A wearable EMG augmentation system for robust emotional understanding.



CAPITULO V

CONCLUSIONES

4. CONCLUSIONES

- Esta tesis se realizó para desarrollar un sistema de monitoreo inalámbrico de salud basado en los sensores que sean capaz de medir dos signos vitales de la salud (la frecuencia cardíaca y la temperatura corporal) y comunicarse con el dispositivo final.
- La tesis llevada a cabo establece las bases para un entorno de monitorización de la salud y de acuerdo a los experimentos y pruebas realizadas se determina que los sensores desarrollados son capaces de leer la temperatura corporal media y la frecuencia cardíaca
- Se ha enfocado el presente estudio al ámbito médico para tener un mayor conocimiento de cuanto ha evolucionado las redes de sensores inalámbricas en este campo.



BIBLIOGRAFÍA

- [1] Juan Vicente Capella Hernández. “Redes inalámbricas de sensores: Una nueva arquitectura eficiente y robusta basada en jerarquía dinámica de grupos”. Universidad Politécnica de Valencia. Abril del 2010.
- [2] Armando Mercado; Rafaelgil Berrios Figueroa; Paul Chan Ye. “Redes inalámbricas Ad-hoc”. Disponible en la web: <http://facultad.bayamon.inter.edu/cgonzalezr/ELEN4618/Adhoc.pdf>
- [3] Integración de WSN en entornos inteligentes. Disponible en la web: <https://arco.esi.uclm.es/public/papers/2008-CursoVeranoUCLM>
- [4] María Soledad Escolar Díaz. “A generic software architecture for portable applications in heterogeneous wireless sensor networks”. Tesis Doctoral Universidad Carlos III de Madrid. 2010.
- [5] Tendencias -Wireless Sensor Networks . Disponible en la web : <http://www.coit.es/publicaciones/bit/bit165/61-64.pdf>
- [6] Wireless Sensor Network. Disponible en la web : http://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_sensor_network
- [7] Roberto Fernández Martínez, Joaquín Ordieres Meré, Francisco Javier Martínez de Pisón Ascacíbar, Ana González Marcos, Fernando Alba Elías, Rubén Lostado Lorza, Alpha Verónica Pernía Espinoza. “Redes inalámbricas de sensores: teoría y práctica”. Universidad de la Rioja.
- [8] Chee-Yee Chong and S.P. Kumar. Sensor networks: evolution, opportunities, and challenges. Proceedings of the IEEE, 91(8):1247–1256, Aug. 2003.
- [9] Edgar Javier Cobos Hernández. “Estudio de las redes sensoriales como una nueva alternativa de comunicación inalámbrica”. 2007.



- [10] Portable Intrusion Detection System (PIDS). Disponible en la web: <http://www.pid-systems.co.uk/>.
- [11] Camalie Networks Wireless Sensing. Disponible en la web: <http://camalie.com/WirelessSensing/WirelessSensors.htm>
- [12] Y. Sankarasubramaniam I. Akyildiz, S. Weilian and E. Cayirci. "A survey on sensor networks". IEEE Communications Magazine, 40(8):102-114, Aug. 2002, 1997.
- [13] In Proc. of the First International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications (WSNA'02), pages 88-97, Atlanta, Georgia. "Wireless sensor networks for habitat monitoring". Sep. 2002.
- [14] In Proc. of SPIE Symposium on Smart Structures and Materials, pages 477-484, San Diego, CA. "Wireless sensors for wild-life monitoring". Mar. 2005.
- [15] Y. Her B. Son and J. Kim. "A design and implementation of forest-fires surveillance system based on wireless sensor networks for south korea mountains". International Journal of Computer Science and Network Security (IJCSNS), 6(9):124-130, 2006.
- [16] Protocolo CAN. Disponible en la web: <http://www.can-cia.org/>
- [17] Web de eSafety Support. Disponible en la web: <http://www.esafetysupport.org/>
- [18] Trackss: Disponible en la web: <http://www.trackss.net>
- [19] Página Web de Caring Cars: Disponible en la web: <http://www.tid.es/netvehicles/caringcars/portal/home.htm>
- [20] Towards Embedded Wireless – Networked Intelligent Daylighting Systems for Commercial Building; Yao-Jung Wen, Jessica Granderson, Alice M. Agogino.
- [21] Sukun Kim; Pakzad, S.; Culler, D.; Demmel, J.; Fenves, G.; Glaser, S.; Turon, M. "Health Monitoring of Civil Infrastructures Using Wireless". Information Processing in Sensor Networks, 2007. IPSN 2007. 6th International Symposium on. Digital Object Identifier: 10.1109/IPSIN.2007.4379685. Page(s): 254 – 263. Publication Year: 2007.



- [22] César Vergara Martel. (2011). Redes de sensores inalámbricos para el análisis de vibraciones. Disponible en la web: <http://cursos.die.udec.cl/~jpezoa/memorias/20110930-cvergara>
- [23] David Magín, Flórez Rubio; Camilo Otálora Sánchez; Carlos Iván Páez- Rueda. “Diseño e implementación de una red de sensores para la adquisición de variables relacionadas con la vigilancia estructural de puentes”. Universidad de Bogotá, Colombia.2009. Disponible en la web: <http://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3176211.pdf>
- [24] G. Hoblos, M. Staroswiecki, and A. Aitouche. “Optimal design of fault tolerant sensor networks”, pp. 467-472, August 2002.
- [25] Bulusu et al., ”Scalable Coordination for Wireless Sensor Networks: Self-Configuring Localization Systems”, ISCTA 2001, Ambleside, U.K, Jul. 2001.
- [26] Woo, A. and Culler, D. “A Transmission Control Scheme for Media Access in Sensor Networks”, Proc. ACM MobiCom ’01, Rome, Italy, July 2001, pp.221– 35.
- [27] Kahn, J.M. Katz, R.H. and Pister, K.S.J. “Next Century Challenges: Mobile Networking for Smart Dust”, Proc. ACM MobiCom ’99, Washington, DC, 1999, pp. 271–78.
- [28] Gascón, David. 802.15.4 vs ZigBee. Wireless Sensor Networks Research Group, 17 de noviembre de 2008. Disponible en la web: <http://www.sensornetworks.org/index.php?page=0823123150>
- [29] Estándar IEEE 802.15.4. Disponible en la web: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/archundia_p_fm/capitulo4.pdf
- [30] Estándar 802.11
<http://multingles.net/docs/Manual%20-%20Redes%20WiFi%20inalambricas.pdf>
- [31] Estándar IEEE 802.15.1
<http://www.ieee802.org/15/pub/TG1.html>



[32] Jennic. IEEE 802.15.4 Wireless Networks User Guide. Oct. 2006.
http://www.jennic.com/files/support_files/JN-UG-3024-IEEE802.15.4-1v1.pdf

[33] William C. Craig Program Manager Wireless Communications; ZMD America, Inc.

“Zigbee: Wireless Control That Simply Works”

[34] Philip Levis, Sam Madden, Joseph Polastre, Robert Szewczyk, Kamin Whitehouse, Alec Woo, David Gay, Jason Hill, Matt Welsh, Eric Brewer y David Culler. “TinyOS: An Operating System for Sensor Networks”.

[35] David Gay, Philip Levis, Robert von Behren, Matt Welsh, Eric Brewer, David Culler. “The nesC Language: A Holistic Approach to Networked Embedded Systems”.

[36] J. L. López and S. M. Doce. Desarrollo de un demostrador para evaluar técnicas cross-layer en sistemas de comunicaciones inalámbricos, Marzo 2008.

[37] Contiki Tema – Swedish Institute of Computer Science, SICS. Disponible en la web:

<http://www.sics.se/contiki/>

[38] eCos Community. Disponible en la web: <http://ecos.sourceware.org/>

[39] Abrach, H., Bhatti, S., Carison, J. et all. “Mantis: System Support for Multimodal NeTworks of In-situ Sensors”. 2nd ACM International Workshop on

Wireless Sensor Networks and Applications, WSNA. San Diego, EEUU: s.n., 2003.

[40] Kiran Kanukurthy, Usha Viswanathan. “Controller for a Continuous Near Infrared Glucose Sensor”. Sensors for Industry Conference. Texas. 2007.

[41] Watthanawisuth, N. “Wireless wearable pulse oximeter for health monitoring using ZigBee wireless sensor network”. Electrical Engineering/Electronics Computer Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), 2010 International Conference. 2010.



- [42] Schwiebert, L., Gupta, S.K.S., Auner, P.S.G., Abrams, G., Lezzi, R., McAllister, P.: “A Biomedical Smart Sensor for Visually Impaired”. IEEE Sensors 2002, Orlando, (2002)
- [43]. Soofi, W. “Nanoscale Surface Acoustic Wave Sensors for Early Cancer Detection”. The 2005 NNIN REU, California.2005.
- [44] Kioumars, A. H., & Tang, L. “Wireless network for health monitoring: Heart rate and temperature sensor”. Paper presented at the Proceedings of the International Conference on Sensing Technology. 2011.
- [45] W. Ealker, T. Polk, A. hande, D. Bhatia, “Remote Blood Pressure Monitoring Using a Wireless Sensor Network”. University of Texas at Dallas.
- [46] K. Lorincz, et. al, “Sensor Networks for Emergency Response: Challenges and Opportunities”, Pervasive Computing, IEEE , vol.3, n°.4, pp. 16- 23, Oct.- Dec. 2004.
- [47] B. Sidhu, H. Singh, A. Chhabra, “Emerging Wireless Standards- WiFi, ZigBee and WiMAX”. World Academy of Science, Engineering and technology 25 2007.
- [48] Burton AC. Human Calorimetry: The average temperature of the tissues of the body. J Nutr. 1935;9:261–280.
- [49] Arduino Hardware and Software. Rertrieved on July 15, 2011 from <http://www.arduino.cc>
- [50] ZigBee Technology. Rertrieved on July 18, 2011 from <http://www.digi.com>
- [51] Snellen JW. Mean body temperature and the control of sweating. Acta Physiol Neerl. 1966;14:99–174.
- [52] J.P. Lynch, “Overview of Wireless Sensors for the Real-Time Health Monitoring of Civil Structures,” Proc. Of the 4th International Workshop on Structural Control and Monitoring, New York, NY, June 10-11, 2004